



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW”**

**FREIRE MORALES EDWIN GEOVANNY**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2010**

**Espoch**

1. Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**

**Febrero 5 del 2010**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**EDWIN GEOVANNY FREIRE MORALES**

---

Titulada:

**“ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**2. INGENIERO MECÁNICO**

---

ING. GEOVANNY NOVILLO A.  
f) Decano de la Facultad de Mecánica

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

ING. JOSÉ PACÍFICO RIOFRÍO R.  
f) Director de tesis

---

ING. VICENTE TRUJILLO.  
f) Asesor de Tesis

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** EDWIN GEOVANNY FREIRE MORALES

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW”

**Fecha de Exanimación:** Febrero 5 del 2010

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. EDUARDO VILLOTA M.			
ING. JOSÉ RIOFRÍO R.			
ING. VICENTE TRUJILLO.			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que se presenta, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Edwin Geovanny Freire Morales

## **AGRADECIMIENTO**

Al acabar este proyecto agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la salud en aquellos momentos difíciles.

A cada uno de los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por haberme transmitido gran parte de sus conocimientos no solo en la formación profesional sino también en el aspecto personal.

Al Ing. Pacífico Riofrío Director de mi Tesis; por sus consejos, recomendaciones y paciencia en el lapso de este tiempo. Al Ing. Vicente Trujillo por su ayuda en el aspecto civil, a todos mis compañeros, ya que gracias a ellos ha estado siempre la voz de aliento para acabar mi carrera.

A mi familia por el apoyo permanente brindado en toda mi vida.

## **DEDICATORIA**

Este logro alcanzado se lo dedico principalmente a mi Madre María Morales, por ser el eje fundamental de mi vida, por su amor y cariño, por su paciencia y principalmente por el sacrificio realizado para sacar adelante mi carrera, a toda mi familia y a mis Padrinos por su apoyo incondicional.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b><u>CAPÍTULO</u></b>	<b><u>PÁGINA</u></b>
<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES ..... 25</b>
1.1	Antecedentes..... 25
1.2	Justificación. .... 26
1.2.1	Justificación técnica..... 26
1.2.2	Justificación económica..... 26
1.2.3	Justificación social..... 27
1.3	Objetivos..... 27
1.3.1	Objetivo general..... 27
1.3.2	Objetivos específicos ..... 27
<b>2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. .... 28</b>
2.1	Captación..... 28
2.2	Funciones de las bocatomas..... 29
2.3	Tipos de captación. .... 29
2.4	Construcción..... 30
2.5	Tipos de tomas..... 30
2.5.1	Toma lateral con espigones. .... 30
2.5.2	Toma convencional..... 31
2.5.2.1	Azud..... 31
2.5.2.2	Zampeado. .... 32
2.5.2.3	Dentellón. .... 32
2.5.2.4	Toma de agua..... 32
2.5.2.5	Desripiador. .... 32
2.5.2.6	Zona de transición..... 33
2.5.3	Toma con rejilla de fondo..... 33
2.6	Desripiador. .... 35
2.7	Transición. .... 35
2.8	Conducción..... 35
2.9	Conducción a través de canales. .... 36
2.9.1.1	Velocidad del agua en el canal. .... 37
2.9.1.2	Revestimiento del canal..... 37
2.9.1.3	Rugosidad. .... 37
2.9.1.4	Borde libre. .... 37
2.9.1.5	Perímetro mojado..... 38
2.9.1.6	Radio hidráulico..... 38
2.9.2	Conducción a través de tubería..... 39
2.10	El aliviadero..... 39

2.11	Desarenador. ....	41
2.12	Tanque de carga o de presión. ....	42
2.13	Chimenea de equilibrio o almenara. ....	44
2.14	Tubería de presión. ....	45
2.14.1	Materiales. ....	46
2.14.1.1	Acero comercial.....	47
2.14.1.2	Policloruro de vinilo (PVC).....	47
2.14.1.3	Hierro dúctil centrifugado.....	47
2.14.1.4	Asbesto - Cemento.....	47
2.14.1.5	Resina de poliéster y fibra de vidrio. ....	48
2.14.1.6	Polietileno de alta densidad. ....	48
2.14.2	Tipos de uniones.....	48
2.14.2.1	Uniones con bridas. ....	49
2.14.2.2	Espiga y campana. ....	49
2.14.2.3	Uniones mecánicas ....	49
2.14.2.4	Uniones soldadas. ....	50
2.14.3	Juntas de expansión. ....	50
2.14.4	Válvulas en la tubería de presión.....	51
2.14.4.1	Válvulas de compuerta. ....	51
2.14.4.2	Válvulas de mariposa.....	52
2.15	Apoyos.....	53
2.16	Anclajes. ....	53
3.	PREDISEÑO DE OBRAS CIVILES. ....	54
3.1	Ecuaciones generales. ....	54
3.1.1	Ecuación de la densidad del agua a medida que varia la temperatura y la altura sobre el nivel del mar. ....	54
3.1.2	Cálculo de la presión atmosférica vs altitud. ....	55
3.2	Obras de captación.....	55
3.2.1	Diseño del azud. ....	55
3.2.1.1	Condiciones de diseño y estabilidad del azud. ....	60
3.2.1.1.1	Verificación del deslizamiento. ....	63
3.2.1.1.2	Verificación al volteo. ....	66
3.2.2	Diseño de la bocatoma convencional. ....	67
3.2.3	Diseño de la bocatoma de fondo. ....	70
3.3	Desripiador de bocatoma convencional. ....	76
3.4	Desripiador de bocatoma con rejilla o de fondo. ....	77
3.5	Conducción.....	79
3.5.1	Diseño de canal de conducción rectangular.....	80
3.5.2	Diseño de canal de conducción trapezoidal.....	84
3.5.3	Conducción por tubería.....	88
3.6	Aliviaderos para canal rectangular. ....	91
3.7	Aliviaderos para canal trapezoidal.....	96



3.8	Desarenador.....	100
3.9	Tanque de presión. ....	103
3.10	Chimenea de equilibrio o almenara. ....	107
3.11	Tubería de presión. ....	110
3.11.1	Tensiones.....	114
3.11.1.1	Tensión tangencial.....	114
3.11.1.2	Tensión longitudinal.....	115
3.11.1.3	Tensión longitudinal a la presión hidrostática.....	115
3.11.1.4	Tensión a flexión entre apoyos.....	115
3.11.1.5	Tensión longitudinal por variación de pendiente.....	116
3.11.2	Apoyos.....	117
3.11.2.1	Esfuerzos sobre apoyos.....	119
3.11.2.2	Estabilidad para el apoyo.....	120
3.11.3	Anclajes.....	122
3.11.3.1	Esfuerzos.....	123
3.11.3.2	Fuerzas resultantes.....	126
3.11.3.3	Dimensiones del anclaje.....	129
3.11.3.4	Estabilidad.....	131
3.12	Cálculo de volúmenes de la obra civil.....	133
3.12.1	Volumen del azud en bocatoma convencional.....	133
3.12.2	Volumen del una bocatoma con rejilla.....	133
3.12.3	Volumen del desripiador en bocatoma convencional.....	134
3.12.4	Volumen del desripiador en bocatoma con rejilla.....	135
3.12.5	Volumen del canal de conducción rectangular.....	136
3.12.6	Volumen del canal de conducción trapezoidal.....	137
3.12.7	Volumen del aliviadero rectangular.....	137
3.12.8	Volumen del aliviadero trapezoidal.....	138
3.12.9	Volumen del desarenador.....	139
3.12.10	Volumen del tanque de presión.....	139
3.12.11	Volumen de cada apoyo.....	140
3.12.12	Volumen de cada anclaje.....	140
4.	ELABORACIÓN DEL SOFTWARE microLORF v1.0.....	141
4.1	Introducción.....	141
4.2	Presentación del sistema.....	141
4.2.1	Análisis de la problemática.....	141
4.3	Descripción.....	147
4.4	Funciones principales.....	147
4.5	Modelo de programación.....	147
4.5.1	Programación orientada a eventos.....	147
4.5.2	Visión.....	148
4.6	Arquitectura del sistema.....	148
4.7	Introducción a SQL Server 2005.....	149

4.7.1	Bases de datos de SQL Server.....	150
4.7.2	Objetos de una base de datos.....	151
4.7.3	Introducción a Transact-SQL. ....	152
4.8	.NET Framework.....	153
4.8.1	Introducción.....	153
4.8.2	Interacción de las aplicaciones con .NET Framework.....	153
4.8.3	Términos y definiciones. ....	154
4.9	Visual Studio .NET. ....	155
4.9.1	Introducción.....	155
4.9.2	Definiciones.....	156
4.9.3	Desarrollo de un proyecto en Visual Studio .Net. ....	157
4.10	Requerimientos.....	159
4.10.1	Requerimientos de hardware. ....	159
4.10.2	Requerimientos de software. ....	160
4.11	Manual de instalación.....	161
4.11.1	Introducción.....	161
4.11.2	Componentes de instalación de microLORF v1.0.....	161
4.11.3	Proceso de instalación de los componentes. ....	162
4.11.3.1	Instalación de Microsoft .NET Framework 2.0. ....	162
4.11.3.2	Instalación del Master Converter.....	164
4.11.3.3	Ejecución del sistema A.P.U. ....	170
4.11.3.4	Instalación del SKF.....	170
4.11.3.5	Instalación del sistema microLORF v1.0 ....	172
4.12	Manual del usuario. ....	177
4.12.1	Introducción.....	177
4.12.2	Barra de menú y de tareas.....	177
4.12.3	Crear nuevo proyecto.....	179
4.12.4	Guardar proyecto. ....	180
4.12.5	Cultura del sistema microLORF v1.0.....	181
4.12.6	Configuración inicial dentro de la aplicación para condiciones ambientales. ....	182
4.13	Impresión de reportes. ....	200
4.14	Software de complementos.....	202
4.15	Validación de resultados.....	204
4.15.1	Introducción.....	204
4.15.2	Datos de entrada para validación. ....	205
4.15.2.1	Desarrollo. ....	205
4.16	Análisis de costos según los datos del estudio de factibilidad de la microcentral hidroeléctrica Chachimbiro. ....	207
4.16.1	Análisis de costo unitario del rubro hormigón.....	207
4.16.2	Análisis del costo unitario del rubro encofrado. ....	208
4.16.3	Análisis del costo unitario del rubro tubería de conducción.....	209
4.16.4	Análisis del costo unitario del rubro tubería de presión. ....	210
4.16.5	Costos de mano de obra, materiales y maquinaria.....	211
4.16.5.1	Análisis de los materiales. ....	211

4.16.5.2	Análisis de la mano de obra. ....	211
4.16.5.3	Costo equipo y maquinaria. ....	212
4.16.6	Análisis de costos totales de la obra civil. ....	212
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	213
5.1	Conclusiones.....	213
5.2	Recomendación.....	214
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		191
BIBLIOGRAFÍA.....		193
LINKOGRAFÍA.....		195
ANEXOS.....		196
PLANOS.....		201

## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
3. 1	Ilustración del cálculo del perfil de creager real..... 57
3. 2	Apertura de barrotes y espesor de rejilla. .... 67
3. 3	Ángulo de inclinación de la rejilla..... 70
3. 4	Apertura de barrotes y espesor de rejilla. .... 71
3. 5	Velocidad máxima [m/s] con tipo de suelo. .... 80
3. 6	Velocidad máxima [m/s] con revestimiento. .... 81
3. 7	Coeficiente n según el material..... 81
3. 8	Velocidad máxima [m/s] con tipo de suelo. .... 84
3. 9	Velocidad máxima [m/s] con revestimiento. .... 85
3. 10	Coeficiente n según el material de cause..... 85
3. 11	Forma del vertedero y coeficiente m. .... 92
3. 12	Coeficiente n según el material de cause. .... 93
3. 13	Forma del vertedero y coeficiente m. .... 97
3. 14	Tamaño de partícula y velocidad de sedimento..... 101
3. 15	Figuras para los coeficientes de entrada en la tubería. .... 110
3. 16	Coeficiente para codos circulares. .... 111
3. 17	Ilustración para ingreso de datos. .... 111
3. 18	Coeficientes según el tipo de válvula. .... 111
3. 19	Tensiones producidas según el suelo de apoyo. .... 118
4. 1	Características del programa. [c] ..... 156
4. 2	Alcance del programa microlorf v1.0. .... 178
4. 3	Botones de mando en la impresión. .... 201
4. 4	Resumen de validación ..... 205
4. 5	Análisis del costo unitario del hormigón. .... 207
4. 6	Análisis del costo unitario del encofrado..... 208
4. 7	Análisis del costo unitario de la tubería de conducción..... 209
4. 8	Análisis del costo unitario de la tubería de presión. .... 210
4. 9	Costos de materiales. .... 211
4. 10	Costos unitarios en mano de obra. .... 211
4. 11	Costos unitarios de maquinaria..... 212
4. 12	Análisis de costos totales en la obra civil. .... 212

## LISTA DE FIGURAS

<b><u>FIGURA</u></b>	<b><u>PÁGINA</u></b>
2. 1 Toma convencional y sus partes...	33
2. 2 Toma con rejilla de fondo.....	34
2. 3 Canal de conducción.....	36
2. 4 Perímetro mojado.....	38
2. 5 Conducción por tubería enterrada.....	39
2. 6 Aliviaderos.....	40
2. 7 Desarenador .....	41
2. 8 Tanque de presión o carga. ....	42
2. 9 Chimenea de equilibrio o almenara .....	44
2. 10 Tubería de presión. ....	45
2. 11 Uniones con bridas. ....	49
2. 12 Unión espiga campana.....	49
2. 13 Uniones mecánicas. ....	50
2. 14 Uniones soldadas. ....	50
2. 15 Esquema de una junta de expansión. ....	51
2. 16 Válvula de compuerta. ....	51
2. 17 Válvulas de mariposa.....	52
2. 18 Esquema de instalación de la tubería de presión. ....	52
3. 1 Dimensiones en el azud.....	60
3. 2 Perfil de Creager.....	60
3. 3 Dimensiones en el perfil de Creager.....	61
3. 4 Fuerzas que intervienen en el azud. ....	64
3. 5 Dimensiones en la bocatoma convencional. ....	67
3. 6 Dimensiones en el desripiador.....	68
3. 7 Parámetros en la bocatoma de fondo ó rejilla.....	72
3. 8 Inclinación en el canal interno de la bocatoma de fondo.....	74
3. 9 Dimensiones específicas de la bocatoma de fondo.....	75
3. 10 Desripiador en la bocatoma convencional. ....	77
3. 11 Desripiador en la bocatoma de fondo .....	78
3. 12 Canal de conducción rectangular .....	80
3. 13 Canal de conducción trapezoidal.....	84
3. 14 Aliviaderos para canal rectangular .....	91
3. 15 Ancho del aliviadero.....	96
3. 16 Aliviadero para canal trapezoidal .....	96
3. 17 Ancho del aliviadero trapezoidal.....	100
3. 18 Desarenador. ....	100
3. 19 Vista superior del desarenador.....	
3. 20 Tanque de presión.....	
3. 21 Vista lateral del tanque de presión.....	105
3. 22 Dimensiones generales del tanque de presión. ....	106
3. 23 Chimenea de equilibrio o almenara. ....	107

3. 24	Tubería de presión y apoyos .....	114
3. 25	Vistas del apoyo.....	117
3. 26	Dimensiones generales en el apoyo.....	118
3. 27	Dimensiones del anclaje. ....	123
3. 28	Fuerzas que intervienen en el anclaje. ....	126
3. 29	Fuerzas trasladadas al centro del anclaje.....	127
3. 30	Fuerza resultante descompuesta en cada eje.....	128
3. 31	Análisis de fuerzas con respecto al eje Z.....	129
3. 32	Anclaje vista isométrica.....	129
3. 33	Dimensiones específicas del anclaje.....	130
3. 34	Dimensiones del desripiador en bocatoma convencional. ....	134
3. 35	Dimensiones del desripiador en bocatoma de fondo. ....	136
4. 1	Suministro de electricidad en el Ecuador hasta el año 2008 .....	143
4. 2	Diagrama de la Energía Producida e Importada (GWh) en Ecuador.....	144
4. 3	Tabla de la Capacidad Instalada en Centrales Eléctricas.....	145
4. 4	Gráfico de la Capacidad Instalada en Centrales eléctricas (MW) en Ecuador. ....	146
4. 5	Arquitectura del sistema .....	148
4. 6	Componentes de SQL Server.....	151
4. 7	Funcionamiento del .NET Framework. ....	153
4. 8	Descripción general de Visual Studio .NET .....	155
4. 9	Entorno de Visual Studio .NET .....	156
4. 10	Desarrollo de un proyecto en Visual Studio .NET .....	157
4. 11	Microsoft .NET.....	162
4. 12	Microsoft .NET.....	163
4. 13	Microsoft .NET.....	163
4. 14	Master Converter 1 .....	164
4. 15	Microsoft .NET 2.....	165
4. 16	Microsoft .NET 3.....	165
4. 17	Microsoft .NET 4.....	166
4. 18	Microsoft .NET 5.....	166
4. 19	Microsoft .NET 6.....	167
4. 20	Microsoft .NET 7.....	167
4. 21	Microsoft .NET 8.....	167
4. 22	Microsoft .NET 8.....	168
4. 23	Microsoft .NET 9.....	169
4. 24	Microsoft .NET 10.....	169
4. 25	APU .....	170
4. 26	SFK.....	170
4. 27	SFK 2.....	171
4. 28	SFK 3.....	171
4. 29	SFK 4.....	---
4. 30	SFK 5.....	---
4. 31	microLORF v1.0_T1 .....	172
4. 32	microLORF v1.0_T2 .....	173
4. 33	microLORF v1.0_T3 .....	173

4. 34	microLORF v1.0_T4 .....	174
4. 35	microLORF v1.0_T5 .....	174
4. 36	microLORF v1.0_T6 .....	175
4. 37	microLORF v1.0_T8 .....	175
4. 38	microLORF v1.0_T9 .....	176
4. 39	microLORF v1.0_T10 .....	177
4. 40	Tutorial A1 .....	179
4. 41	Tutorial A2 .....	179
4. 42	Tutorial A3 .....	180
4. 43	Tutorial A4 .....	180
4. 44	Tutorial A5 .....	181
4. 45	Tutorial A7 .....	182
4. 46	Tutorial A8 .....	183
4. 47	Tutorial A9 .....	183
4. 48	Tutorial A10 .....	184
4. 49	Tutorial A10 .....	184
4. 50	Tutorial A11 .....	185
4. 51	Tutorial A12 .....	185
4. 52	Tutorial A13 .....	186
4. 53	Tutorial A14 .....	186
4. 54	Tutorial A15 .....	187
4. 55	Tutorial A16 .....	187
4. 56	Tutorial A12 .....	188
4. 57	Tutorial A13 .....	188
4. 58	Tutorial A16 .....	189
4. 59	Tutorial A18 .....	189
4. 60	Tutorial A19 .....	189
4. 61	Tutorial A18 .....	190
4. 62	Tutorial A19 .....	190
4. 63	Tutorial A20 .....	191
4. 64	Tutorial A21 .....	191
4. 65	Tutorial A22 .....	191
4. 66	Tutorial A23 .....	192
4. 67	Tutorial A24 .....	192
4. 68	Tutorial A25 .....	192
4. 69	Tutorial A26 .....	193
4. 70	Tutorial A27 .....	193
4. 71	Tutorial A28 .....	194
4. 72	Tutorial A29 .....	194
4. 73	Tutorial A30 .....	195
4. 74	Tutorial A31 .....	195
4. 75	Tutorial A32 .....	195
4. 76	Tutorial A33 .....	196
4. 77	Tutorial A34 .....	196
4. 78	Tutorial A35 .....	197

4. 79	Tutorial A36 .....	197
4. 80	Tutorial A37 .....	198
4. 81	Tutorial A38 .....	198
4. 82	Tutorial A39 .....	199
4. 83	Tutorial A36 .....	199
4. 84	Tutorial A37 .....	200
4. 85	Tutorial A38 .....	201
4. 86	Tutorial A39 .....	201
4. 87	Tutorial A39 .....	202
4. 88	APU I.....	203
4. 89	APU I 2.....	203
4. 90	APU I 3.....	204



## **LISTA DE ANEXOS.**

<b>ANEXO 1.</b>	Generación eléctrica en el Ecuador
<b>ANEXO 2.</b>	Coordenadas del perfil de Creager
<b>ANEXO 3.</b>	Viscosidad cinemática en función de la temperatura
<b>ANEXO 4.</b>	Materiales para la tubería de presión
<b>ANEXO 5:</b>	Planos

## SIMBOLOGÍA

$x=$	Altura sobre el nivel de mar.	m.
$T=$	Temperatura.	°C.
$\gamma_w=$	Densidad del agua.	Kg/m <sup>3</sup> .
$\phi_w=$	Peso específico del agua.	N/m <sup>3</sup> .
$P_a=$	Presión atmosférica.	Pascales.
$Q_{\max}=$	Caudal máximo o avenida.	m <sup>3</sup> /s.
$Q_{\min}=$	Caudal mínimo estiaje.	m <sup>3</sup> /s.
$Q_d=$	Caudal de diseño.	m <sup>3</sup> /s.
$\Delta h_d=$	Altura del dentellón.	m.
$dm=$	Diámetro de la partícula en el lecho del río.	m.
$\mu_{\text{roca}}=$	Factor de fricción de la roca.	Adimensional.
$\Delta=$	Relación del peso específico del hormigón con el agua.	Adimensional.
$X_{\text{mod}}=$	Distancia en el eje de las abscisas en el azud.	m.
$Y_{\text{mod}}=$	Distancia en el eje de las ordenadas en el azud.	m.
$\beta=$	Ángulo de inclinación de la rejilla.	Grados.
$M=$	Coeficiente según KONOVALOV.	Adimensional.
$S=$	Coeficiente según BAZIN.	Adimensional.
$b'=$	Ancho real de la rejilla.	m.
$Y_c=$	Profundidad crítica del canal.	m.
$V_c=$	Velocidad crítica del canal.	m/s.
$L_{des}=$	Longitud del desripiador.	m.
$L_{Tr}=$	Longitud de transición.	m.
$d=$	Calado del canal.	m.
$A_m=$	Area mojada.	m <sup>2</sup> .
$P_m=$	Perímetro mojado.	m.
$R=$	Radio hidráulico.	m.

$p=$	Pendiente del canal.	%.
$\lambda=$	Coeficiente de fricción en la tubería.	Adimensional.
$H_{rs}=$	Pérdidas secundarias en la tubería.	m.
$Re=$	Número de Reynolds.	Adimensional.
$P_T=$	Presión de trabajo.	Kgf/m <sup>2</sup> .
$E=$	Energía específica en el vertedero.	m.
$d_d=$	Profundidad de decantación.	m.
$U=$	Turbidez.	Kg/m <sup>3</sup> .
$\delta_s=$	Densidad de la arena.	Kg/m <sup>3</sup> .
$T=$	Periodo de tiempo en vaciado de tanque.	s.
$L_d=$	Longitud del tanque desarenador.	m.
$D=$	Diámetro de la tubería de presión.	m.
$h_{2c}=$	Altura total del tanque de presión.	m.
$HB=$	Altura bruta.	m.
$D_c=$	Diámetro de la almenara.	m.
$H_{cmin}=$	Altura mínima de la almenara.	m.
$L_s=$	Longitud entre apoyos.	m.
$e'=$	Espesor de la tubería de presión.	mm.
$\delta_{ta}=$	Tensión tangencial en la tubería de presión.	Kgf/cm <sup>2</sup> .
$P_s=$	Presión actuante por golpe de ariete.	Kgf/cm <sup>2</sup> .
$\delta_{te}=$	Tensión por variación de temperatura.	Kgf/cm <sup>2</sup> .
$\delta_{tl}=$	Tensión por variación hidrostática.	Kgf/cm <sup>2</sup> .
$\gamma_t=$	Peso específico de la tubería.	Kgf/m <sup>3</sup> .
$\theta_1=$	Ángulo de la tubería aguas arriba.	Grados.
$\theta_2=$	Ángulo de la tubería aguas abajo.	Grados.
$V=$	Volumen de las partes de la obra civil.	m <sup>3</sup> .

## SUMARIO

En el Ecuador existe gran potencial hidroeléctrico, el cual es explotado tan solo el 8%, el 48% de energía instalada en nuestro país proviene de la energía térmica que contribuye a la contaminación ambiental pues su operación es en base a la quema de combustible, por ello se ha realizado este programa para ejecutar estudios de evaluación en zonas con potencial hídrico, hoy en día estos trabajos son extremadamente caros, llegando a costar el 10% de la obra total. Como punto de partida se toma el límite de hasta 10MW en generación.

Con los datos del campo, se ingresa al computador e inmediatamente se obtiene resultados veraces de la obra civil en el proyecto, el software *microLORF* v1.0 abarca los temas de: bocatomas, desripador, conducción, desarenador, aliviaderos, tanque de presión, apoyos y anclajes.

Además el programa será capaz de fusionarse con otras aplicaciones tales como; APU, aplicativo para análisis de costos, Master Converter, aplicativo para cambio de sistema de unidades, Calculadora, aplicativo del sistema operativo *microLORF* v1.0 contiene ayudas referentes a la obras civiles que indican el proceso seguido para su diseño, terminología, manual de usuario, etc.

Otra ventaja es que puede guardar y visualizar e imprimir los reportes de los proyectos.

## SUMMARY

There is a great hydroelectric potential in Ecuador and only 8% is being exploited, 48% installed energy from our country comes from thermal energy which pollutes the environment because of the burning fuels. This program has been carried out in order to execute evaluation studies in hydrological potential areas. Nowadays, this work is extremely expensive; it may cost 10% the whole work. As a starting point the limit to generation is taken.

Field trip data are input in the computer and immediately reliable results are gotten from the civil works in the project. The micro*LORF* software v 1.0 cover the terms of: water inlet, gravel chamber, conduction, sand trap, overflow channel, pressure tank, supports and anchors.

Besides the program will be able to merge with another applications such as: APU, applicable for the cost analysis, Master Converter, applicable for changing unit system, Calculator, applicable for operating system micro*LORF* v 1.0 containing references help to the civil works showing the followed process for its design, terminology, user manual, etc.

Another advantage about the projects reports can save, view and print.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

### **CAPTACIÓN.**

Las obras de captación son estructuras de hormigón diseñadas para desviar, atraer y regular el flujo sin almacenamiento aprovechando el caudal que hay en el momento dado para la producción de hidroenergía sea esta mecánica o eléctrica.

### **ESTIAJE.**

Es el nivel más bajo del agua en ciertas épocas del año que tienen los ríos, las lagunas, etc. por causa de la sequía.

### **AVENIDA.**

Se denomina crecida o caudal extraordinario al caudal excesivamente alto en un río. Los fenómenos de las avenidas, al igual que las precipitaciones, son aleatorios con ciclos básicamente anuales. Otra definición de avenida o crecida, según la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundación, es la siguiente: “un aumento inusual del caudal de agua de un cauce que puede o no, producir desbordamientos o inundaciones”.

### **AZUD.**

Cierra el cauce del río obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a pasar por la conducción.

### **ZAMPEADO.**

En el tiempo de crecidas, las aguas de exceso pasan por encima del dique o azud, esta obra puede estar acompañada de un zampeado, el cual disminuye el exceso de la velocidad del agua, a fin de disminuir la erosión en el lugar de la bocatoma.

**DENTELLÓN.**

Un dentellón que se construye aguas arriba y debajo del zampeado, en algunas ocasiones con drenes, para disminuir la sub-presión del agua que se filtra por debajo del azud y para darle un mejor anclaje a la estructura.

**DESRIPIADOR.**

Es una cámara que recoge el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla. Para lavar el material sólido depositado en el desripiador se dispone de una compuerta hacia el río, la cual lo elimina.

**ZONA DE TRANSICIÓN.**

Una transición de entrada al canal continuo al desripiador une a este último con el canal para evitar pérdidas grandes de energía entre éstos.

**TOMA CONVENCIONAL.**

La toma convencional o lateral se caracteriza por tener una pequeña presa que no tiene la capacidad de almacenar agua, de ahí que no posea regulación.

**ESPIGÓN.**

Macizo saliente que se construye a la orilla de un río o mar para proteger la orilla o desviar la corriente.

**CIMACIO.**

Moldura cuyo perfil dibuja una S con los extremos tendiendo hacia la horizontal, en general con la parte superior cóncava y la inferior convexa.

**TURBIDEZ.**

La turbidez se expresa como el peso del sedimento transportado por metro cúbico de agua.

### **TANQUE DE CARGA O DE PRESIÓN.**

La cámara de presión es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o parada brusca de las turbinas

### **GOLPE DE ARIETE.**

Onda de presión que se produce por un cierre brusco de una compuerta y parada de la corriente agua, mediante una vibración ruidosa.

### **ALMENARA.**

Sirve para atenuar los efectos del golpe de ariete en las centrales hidráulicas.

### **TUBERIA DE PRESIÓN.**

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse << apoyos >> y a variar la pendiente << anclajes >>.

### **APOYOS.**

Los apoyos en la tubería de presión son bloques de concreto que permiten el desplazamiento axial de la tubería y en el caso de pequeñas fuerzas verticales las absorbe.

### **ANCLAJES.**

Son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería.



## **CAPÍTULO I**

### **4. GENERALIDADES**

#### **4.1 Antecedentes.**

El gran potencial hídrico que existe en el Ecuador no es aprovechado en su totalidad para la generación eléctrica razón por la cual se está utilizando la energía termoeléctrica que posee un 47% en potencia instalada la misma que introduce grandes cantidades de contaminantes en la atmósfera debido a la mala combustión, y conllevan a una alteración en el ecosistema; en cuanto que la energía hidroeléctrica posee un 47% y en producción lo cual es poco para el recurso disponible en el país. [e]

Además se considera que una zona que no tiene energía eléctrica está limitada en su capacidad de surgir y adquirir los servicios básicos y dependen en gran parte de ciudades que están en desarrollo, es por eso que, se ha realizado este trabajo para iniciar estudios sobre tan importante tema y mediante un programa computacional evaluar lugares con potencial hídrico. Mediante el fácil manejo de datos tomados en el campo y la obtención rápida de resultados, se pondrá en marcha los proyectos de generación para así contribuir con la integración de las zonas aisladas transformándolas en importante aporte para el desarrollo socio-económico de nuestro país.

El funcionamiento del programa consiste básicamente en introducir datos obtenidos en el campo, posteriormente se calcula los resultados, muchas de las veces no van a cumplir con las condiciones de diseño, para ello hay que variar dimensiones y re calcular, finalmente se obtiene el proyecto hidroeléctrico en cuanto a las obras civiles y además opciones entre las cuales se visualiza planos ilustrativos de las construcciones, desde la bocatoma hasta la tubería de presión.

## **4.2 Justificación.**

### **4.2.1 Justificación técnica.**

Gracias al gran potencial hídrico que existe en nuestro país se puede explotar a gran escala la energía potencial y cinética que posee los ríos; la potencia aproximada que se podría generar en los ríos del Ecuador es 22,000 MW de los cuales solo el 8% son utilizados en generación eléctrica, es por ello que este proyecto fundamenta su principal objetivo el aumentar el estudio y en futuro la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas para así dar mejores alternativas de desarrollo e incrementar fuentes de trabajo en comunidades alejadas al sector urbano, razón por la cual este software optimiza tiempos de diseño para; elección de materiales, dimensionamiento de tuberías, visualización de imágenes, etc. que van acorde con las distintas topografías de terrenos.

De esta manera se agilizará las consultorías y los proyectos hidroeléctricos serán construidos con mayor premura.

### **4.2.2 Justificación económica.**

Gracias a la rapidez de ejecución del programa computacional las consultorías realizadas a los sectores alejados de la zona urbana, facilitará los procesos de ejecución de los proyectos y de esta forma beneficiará la situación económica, mediante la creación de pequeñas industrias artesanales y agrícolas mejorando las utilidades.

Las caídas considerables de agua o variedades de ríos, proyectan excelentes escenarios turísticos los mismos que necesitan energía eléctrica para adecuar con comodidad sus instalaciones y de esta manera sacar el mayor provecho a sus visitantes.

Es importante decir que gracias al funcionamiento de las pequeñas centrales, que utiliza gratuitamente el agua, se verá beneficiada la economía de cada morador.

#### **4.2.3 Justificación social.**

Los beneficios que prestan a futuro estos estudios conllevan a una rápida y eficiente construcción de proyectos energéticos, los cuales son necesarios para el desarrollo educativo y de salud en la zona.

Este estudio será el principio de integración para la parroquia ya que en base al trabajo comunitario de cada uno de sus integrantes se lograra culminar con los estudios previos para la instalación de la pequeña central, además se busca que los moradores de las zonas rurales no emigren hacia la ciudad principalmente por la falta de energía eléctrica.

### **4.3 Objetivos**

#### **4.3.1 Objetivo general**

Realizar un software para el diseño de los elementos constitutivos en obra civil de centrales hidroeléctricas hasta 10 MW.

#### **4.3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar información bibliográfica.
- Insertar información civil, hídrica, topográfica y matemática en el programa para facilitar el estudio de la implantación de una central hidroeléctrica.
- Dimensionar los elementos de una central hidroeléctrica hasta 10 MW; bocatoma, desripador, canal de conducción, conducción por tubería, desarenador, aliviadero trapezoidal y rectangular, almenara, tanque de presión, tuberías de presión, entre otros.
- Presentar planos a través del software de los distintos elementos constitutivos de la pequeña central hidroeléctrica de la obra civil.
- Presentar resultados rápidos y precisos del estudio de pre factibilidad de una central hidroeléctrica a través del software.

## **CAPÍTULO II**

### **5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

#### **5.1 Captación.**

Las obras de captación son estructuras de hormigón diseñadas para desviar, atraer y regular el flujo sin almacenamiento aprovechando el caudal que hay en el momento dado para la producción de hidroenergía sea esta mecánica o eléctrica.

En la ubicación de las obras de toma se debe realizar un análisis en el cual se va a tener en cuenta la topografía, la geología, comportamiento de los suelos del lugar y las condiciones del curso de agua, es mejor ubicarlas en un lugar seguro y en lo posible con presencia de roca además de que este en tramos rectos y estables del río (figura 2.1) de no contarse con esta condición preferentemente se ubicará en los primeros tramos de la curva y siempre en la parte convexa, los tramos finales de la curva convexa estarán muy expuestos a las arremetidas de las crecientes y de las velocidades erosivas.



**Figura 2. 1. Bocatoma.**

La finalidad de las obras de toma son acoger una cantidad constante de caudal a pesar del calado que exista en el río, impedir al máximo la entrada de cualquier material o sólido en suspensión e impedir que los mismos no ingresen a la conducción o tubería de presión, Además la bocatoma debe disponer

de una estructura de retención que garantice un mismo nivel con cualquier caudal de río, una obra de toma para la captación del caudal de diseño con una rejilla que evite el paso del material sólido flotante y una obra de lavado del material sólido en una estructura de retención.

En el desarrollo de un proyecto de este tipo es necesario tener presente que la estructura de captación o bocatoma es una obra muy importante para el éxito del mismo. Si por una razón u otra se produce una falla en la bocatoma, esto significaría la posibilidad del fracaso de todo el proyecto. Es decir, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de una bocatoma deben ofrecer el máximo de seguridad.

## **5.2 Funciones de las bocatomas.**

Las bocatomas deben cumplir con las siguientes funciones:

- Garantizar la captación de una cantidad constante de agua, especialmente en épocas de estiaje.
- Impedir, hasta donde sea posible, el ingreso de materiales sólidos y flotantes, haciendo que estos sigan el curso del río o facilitando la limpieza.
- Proteger el resto del sistema de obras hidráulicas del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en las épocas lluviosas.

## **5.3 Tipos de captación.**

La captación puede realizarse directamente sin ninguna obra en el cauce, el caudal es conducido directamente por un canal lateral; sin embargo, la obra está expuesta a deterioro por crecientes del río; esta captación se la llama Lateral con Espigones.

Otro tipo de captación dispone de un dique que cierra el cauce del río y eleva el nivel hasta una cota determinada, donde se vierte a través de un vertedero (toma convencional) o se capta directamente en el cuerpo del dique. Para el desarrollo del software se utilizará los dos tipos de bocatomas convencional y de fondo.

#### **5.4 Construcción.**

Las bocatomas convencionales y de fondo se deben construir en época de estiaje, desviando el agua del río hacia una de sus márgenes mientras se construye en la otra. Una vez realizado este trabajo, el río se desvía hacia la compuerta del desripador o si es posible por el canal hacia el primer aliviadero.

#### **5.5 Tipos de tomas.**

Existen tres tipos de tomas que se menciona a continuación.

##### **5.5.1 Toma lateral con espigones.**

Se desvía el agua del río utilizando un espigón como se muestra en la FIGURA 2.2

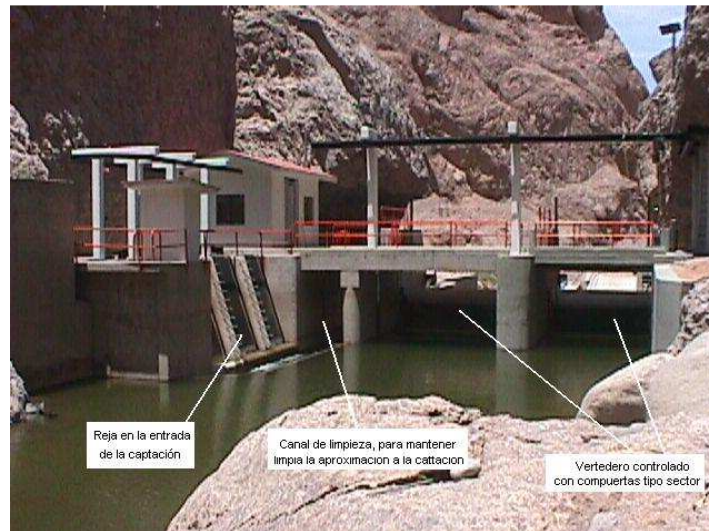


**Figura 2. 2. Toma lateral con espigones.**

Es difícil controlar el flujo que ingresa a la conducción además esta obra no impide el ingreso de material sólido debido a la sencillez de construcción es por eso que los datos de diseño dependen únicamente de flujo del río y su nivel.

### 5.5.2 Toma convencional.

La toma convencional o lateral se caracteriza por tener una pequeña presa que no tiene la capacidad de almacenar agua, de ahí que no posea regulación. La presa obliga a que parte del caudal fluya a través de la toma de agua y el excedente se vierta por el aliviadero de la presa. [3]



**Figura 2. 3.Toma convencional y sus partes.**

Es muy usual instalarlas en ríos de montaña, con las siguientes características:

- Pendientes longitudinales de 10% o más.
- Crecientes súbitas causadas por aguaceros de corta duración y que llevan gran cantidad de piedras.
- Grandes variaciones diarias de caudal cuando proviene de nevados.
- Pequeño contenido de sedimentos finos y agua relativamente limpia en estiaje.

Principales elementos que constituyen la bocatoma convencional.

#### 5.5.2.1 Azud.

Cierra el cauce del río obligando al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a pasar por la conducción.

Por razones de estabilidad se optaría dar a los azudes un perfil trapezoidal ligeramente redondeado pero con esto se produce un aumento notable de presiones al pie del parámetro inferior en cambio en

la parte superior del parámetro aguas abajo se produce una notable disminución de presión, consiguientemente es conveniente reducir la presión sobre el cimacio<sup>1</sup> (parte superior del parámetro) pero adoptando un perfil tal que esté sometido a una presión casi nula en todos sus puntos. Esto es lo que ha tratado de conseguir **Creager** con el perfil que lleva su nombre. [1]

Las coordenadas del perfil de Creager se encuentran en el ANEXO 2.

#### **5.5.2.2 Zampeado.**

En el tiempo de crecidas, las aguas de exceso pasan por encima del dique o azud, esta obra puede estar acompañada de un zampeado, el cual disminuye el exceso de la velocidad del agua, a fin de disminuir la erosión en el lugar de la bocatoma. [1]

#### **5.5.2.3 Dentellón.**

Un dentellón que se construye aguas arriba y debajo del zampeado, en algunas ocasiones con drenes, para disminuir la sub-presión del agua que se filtra por debajo del azud y para darle un mejor anclaje a la estructura.

#### **5.5.2.4 Toma de agua.**

Es una ventana con una reja que impide el ingreso de material sólido flotante grueso.

#### **5.5.2.5 Desripiador.**

Es una cámara que recoge el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla. Para lavar el material sólido depositado en el desripiador se dispone de una compuerta hacia el río, la cual lo elimina.

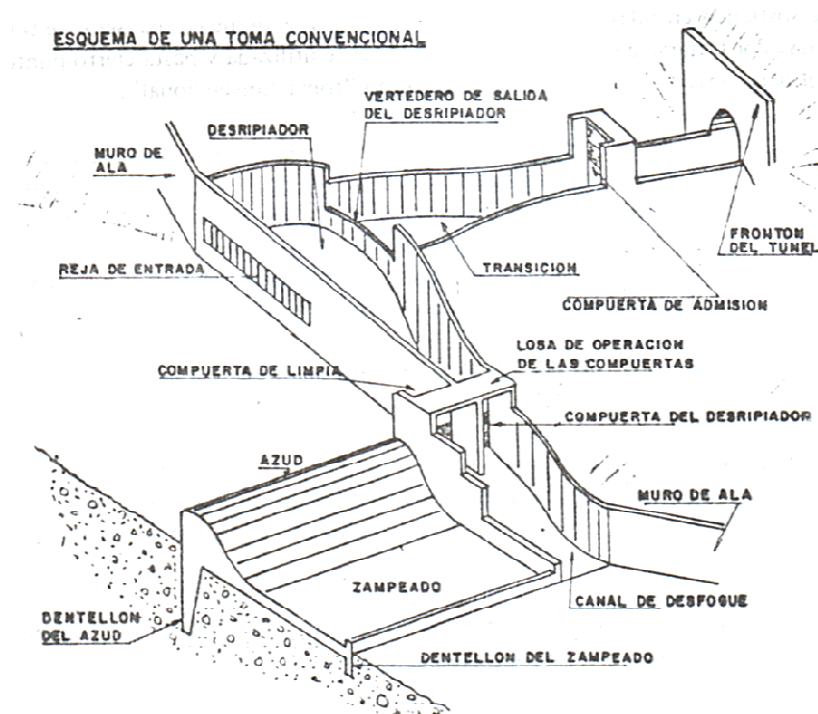
---

<sup>1</sup> Cimacio.- Moldura en forma de S.



### 5.5.2.6 Zona de transición.

Una transición de entrada al canal continuo al desripador une a este último con el canal para evitar pérdidas grandes de energía entre éstos. Es agua se vierte del desripador a la transición a través de un vertedero más ancho que el canal para así depositar el material grueso en el desripador, en la siguiente figura se representa las partes de la bocatoma.



**Figura 2. 4. Toma convencional y sus partes.**

### 5.5.3 Toma con rejilla de fondo.

Los ríos de montaña o torrentes tienen las siguientes características: [1]

- Pendientes longitudinales que llegan hasta 10%.
- Crecientes súbitas causadas por aguaceros de corta duración y que llevan gran cantidad de piedras.
- Grandes variaciones diarias de caudal cuando provienen de nevados.
- Pequeño contenido de sedimentos finos y agua relativamente limpia en estiaje.

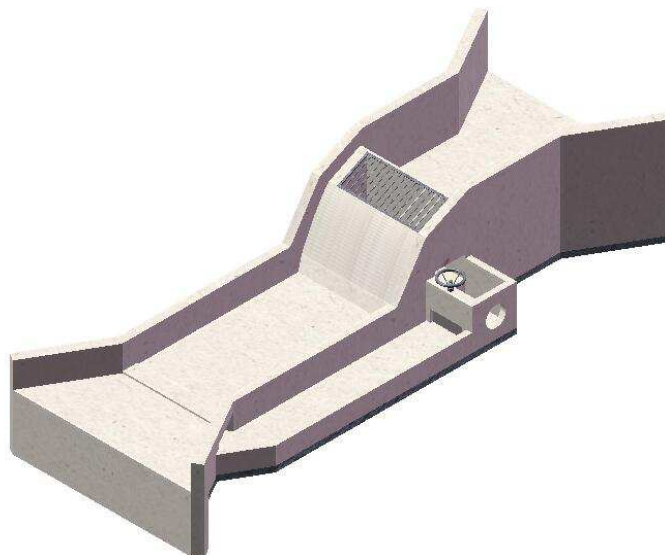
Una de las desventajas con esta toma es que el azud debe estar levantado a cierta altura sobre el fondo del río para poder captar el agua, y como consecuencia son necesarias obras de disipación de energía que son bastante costosas.

Esta bocatoma se compone de tres partes.- Un tramo en la orilla opuesta al canal que se compone de un azud macizo sobre el cual vierte el agua en creciente. Este azud debe tener un perfil hidrodinámico que normalmente se diseña con las coordenadas de Creager.

Un tramo central con la rejilla.

Un tramo hueco que tiene en su interior la galería que conduce al agua desde la rejilla al canal. La galería está tapada con una losa de hormigón armado y que en su parte superior sigue el mismo perfil que el azud macizo. Cuando la rejilla está pegada a la orilla este tramo se suprime, a continuación se construye un zampeado cuyas dimensiones depende de la altura de ésta y del caudal de creciente.

Como la rejilla es la parte más baja de la presa que cierra el río, cualquiera que sea el caudal, el agua debe pasar forzosamente por ella; debido a esto la rejilla puede estar a cualquier altura sobre el fondo de manera que la altura del azud puede llegar a ser cero, aunque normalmente oscila entre 20 o 50 cm.



**Figura 2. 5. Toma con rejilla de fondo.**

## **5.6 Desripiador.**

Después de la reja de entrada se acostumbra a dejar una cámara que se llama desripiador y sirve para detener las piedras que alcanzaron a pasar entre los barrotes y que no deben entrar al canal. Con este objeto la velocidad debe ser relativamente baja y el paso hacia el canal debe hacerse con un vertedero sumergido.

Se puede establecer un ancho del desripiador como igual al de una transición que uniera los anchos de la reja y del vertedero.

También se procura eliminar todos los ángulos rectos y las paredes con curvas que converjan hacia la compuerta para que las piedras no se queden en las esquinas pero esto también no es lo mejor en el aspecto de construcción ya que es muy difícil construir paredes curvas y además quita un tiempo considerable para el trabajador.

## **5.7 Transición.**

El agua sale del desripiador por medio de un vertedero ancho y con poco calado pasado a un túnel o canal que generalmente tiene una sección más estrecha y más profunda. Por lo tanto es aconsejable intercalar entre los dos una transición, es decir una estructura en la cual el cambio de sección sea gradual y así conseguir que la pérdida de carga sea mínima.

## **5.8 Conducción.**

Luego de la zona de transición se comunica con la conducción que puede ser a través de canales de hormigón o como en este proyecto, mediante tubería de conducción.

## 5.9 Conducción a través de canales.

Se llaman canales a los canales artificiales de forma regular que sirven para conducir agua, y van a cielo abierto, es decir aquellos que se escavan a media ladera por lo general y el material excavado de ser posible se utiliza en el relleno del labio inferior.

El criterio técnico con el que se diseñan estas obras toma en cuenta las características topográficas del lugar donde se instalara la toma, y del caudal que generalmente disminuye aguas arriba. Además de este criterio se debe tener en cuenta la parte económica que depende de la longitud de la obra pues a mayor longitud mayor costo. Por lo general el sitio de iniciación de la utilización del agua, como tanque de presión, comienzo de la zona de riego, etc. será establecido y desde allí se traza la línea de gradiente hacia el río para determinar la ubicación de las obras de toma.

La gradiente del canal es forzosamente menor que la del río y mientras mayor es la primera, más larga resulta la longitud del canal, y mayor el costo. A la inversa un canal disminuye de sección y consiguientemente de costo con el aumento de la gradiente.

Las dimensiones más ventajosas para distintas formas de canales se determina teniendo en cuenta que el caudal es tanto mayor cuanto mayor sea el radio hidráulico o cuanto menor sea el perímetro.



**Figura 2. 6. Canal de conducción**

#### **5.9.1.1 Velocidad del agua en el canal.**

Las velocidades demasiado bajas permiten el depósito de sedimentos y pueden llegar a obstruir el canal en cambio el flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes del mismo es por eso que hay que tomar una velocidad optima de diseño que está entre (0.7 y 2) m/s para que no produzca los efectos mencionados con anterioridad. [1]

#### **5.9.1.2 Revestimiento del canal.**

El propósito de revestir canales se da por:

- Impermeabilizarlos y evitar la filtración.
- Permitir una mayor velocidad evitando la erosión y reducir el coeficiente de rugosidad.
- Evitar la acción de agentes atmosféricos, plantas y animales.
- Economizar recursos dados los bajos costos en cuanto a la construcción como en el mantenimiento, sin embargo, para pequeñas secciones es más recomendable utilizar tubería.

#### **5.9.1.3 Rugosidad.**

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Mientras más rugoso es el material del canal, hay mas pérdidas por fricción y mayor será la pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal.

#### **5.9.1.4 Borde libre.**

Es la distancia vertical que hay entre el nivel normal del agua y extremo superior de las paredes del canal. Su objetivo es evitar que el canal se desborde cuando ingrese mayor cantidad de agua que la estimada, ya que ello podría producir daños en la ladera del cerro sobre la que ha sido construido.

#### 5.9.1.5 Perímetro mojado.

Es la longitud en la que la sección transversal moja el lecho y los lados del canal.

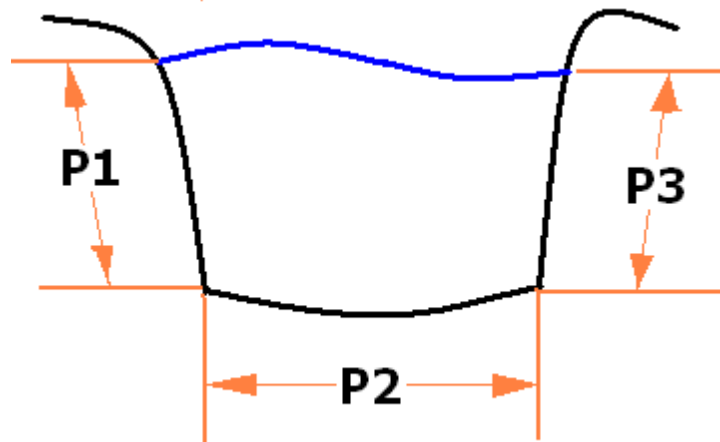


Figura 2. 7. Perímetro mojado.

#### 5.9.1.6 Radio hidráulico.

Es una cantidad que describe la eficiencia del canal. Si el canal tiene una gran área de sección transversal y un perímetro mojado relativamente pequeño, entonces con un borde libre normal esto implica que es eficiente y que el agua tendrá la velocidad requerida con una pérdida relativamente pequeña.

### 5.9.2 Conducción a través de tubería.



**Figura 2. 8. Conducción por tubería enterrada**

La conducción a través de tubería se la realiza posteriormente a las mediciones tomadas en el campo desde el nivel de donde se capta hasta, ya sea un desarenador o a su vez un tanque de presión, esta conducción de fluido se la ejecuta cuando las condiciones de terreno son inestables y difíciles de transitar, lo cual dificulta el traslado de materiales tales como el cemento, la piedra de construcción la arena entre otros así como las herramientas de trabajo de los constructores, la dificultad de traslado hace que primero se construyan calles de acceso hacia el lugar de proyecto y esto encarecería el mismo, además se opta por la conducción a través de tubería por el costo de compra de este producto.

Una vez medidas las alturas de la toma de agua y tanques antes mencionadas se toman los datos de: el caudal de diseño, la longitud de la tubería, el número de codos de 45 y 90 grados de ser necesario, y se procede al cálculo que posteriormente se explicara.

### 5.10 El aliviadero.

Durante las crecientes los caudales excepcionales serán evacuados por los vertederos. Si dichos caudales llegaran a ingresar al sistema podrían generar problemas de imprevisibles consecuencias. Los vertederos pues, también cumplen una valiosa función de *protección*.

El aliviadero es una obra de seguridad de la conducción; es un vertedero lateral en el canal con una cresta unos pocos centímetros por encima del nivel normal del agua, se encarga de verter las cargas de exceso que superan la capacidad del canal; los aliviaderos se proyectan en forma de vertederos laterales o sifones ubicados en el labio del canal, siendo los primeros mucho más comunes que los segundos por razones de construcción.



**Figura 2. 9. Aliviaderos.**

Para el diseño de los aliviaderos se toma las peores condiciones, o sea, se asumen un derrumbe instantáneo que se produce inmediatamente aguas arriba del aliviadero. Por lo tanto, para que el agua pueda desfogar por el aliviadero situado aguas arriba, debe suspenderse en toda la longitud que separa los dos aliviaderos entre sí.

Para el dimensionamiento del aliviadero en la obra de conducción es importante determinar el número de éstos en el canal. La elección del número de aliviaderos se basa en el criterio técnico-económico entre la longitud entre estos y la altura de seguridad para obtener un menor costo por excavación y volumen de hormigón.



### 5.11 Desarenador.

Debido a que el agua que es transportada desde las obras de toma hacia la casa de máquinas y la turbina tiene elementos en suspensión como arena y sedimentos, es necesario asentar los mismos, pues se corre el riesgo de dañar gravemente los álabes de la turbina por la abrasión que estos producen.



**Figura 2. 10. Desarenador**

El desarenador es una obra hidráulica que sirve para sedimentar partículas de material sólido suspendidas en el agua, en el interior de la conducción.

Las partículas se mantienen en suspensión debido a que la velocidad de entrada en la bocatoma es elevada y suficiente para arrastrar partículas sólidas; en especial durante las crecidas pueden entrar sedimentos de 4 al 6 % del volumen del agua transportada y en ríos de llanura es de 0.2 al 1 % para que ellas se decanten se disminuye su velocidad; en consecuencia, para cumplir con su propósito el desarenador dispone de una mayor área. [3]

El obviar la utilización del desarenador puede generar grandes daños tales como:

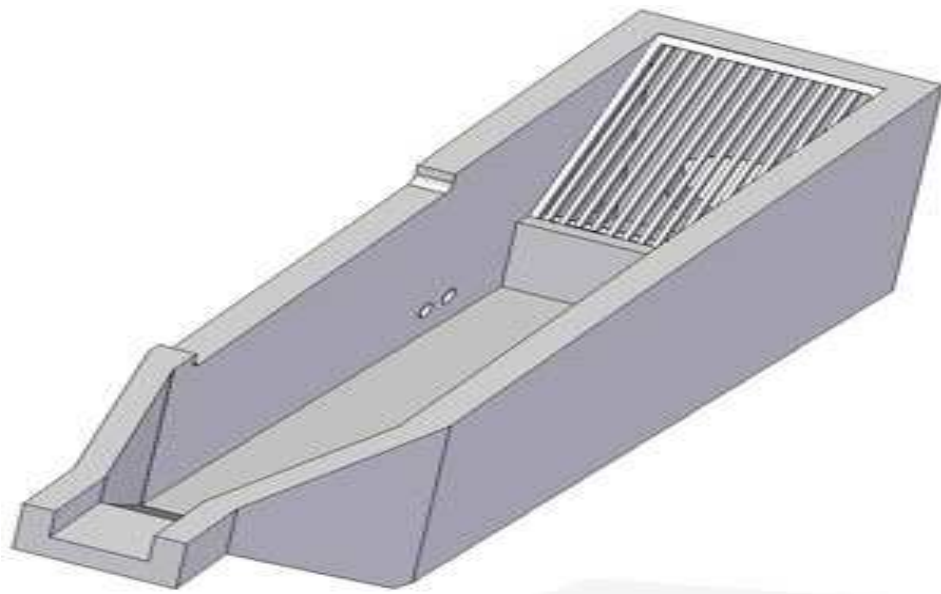
- Disminución de la conducción es decir por canal, por sedimentación esto conlleva a aumentar el mantenimiento de la obra.
- Disminución de la capacidad del tanque de presión por acumulación de material sólido, debido a la sedimentación, ocasionada por la baja velocidad existente en esta obra.

- Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, éstas desgastan más rápidamente la tubería y las turbinas, disminuyendo de manera considerable su vida útil.

La longitud total del desarenador se divide en tres partes que son entrada, decantación y salida. Para el funcionamiento correcto del desarenador es importante distinguir estas longitudes además de las profundidades de decantación y de recolección que sirven para poder retener una cierta cantidad de sedimentos recolectados por el mismo.

Los desarenadores deben estar diseñados para trabajar en periodos de gran turbidez. La turbidez se expresa como peso de sedimento transportado por metro cúbico de agua. Un método simple para medir la turbidez es llenar un balde con agua de torrente unas 20 veces a diferentes profundidades, dejándola reposar hasta que el sedimento se asiente. Luego se separa y pesa la materia sólida registrando después el volumen de agua procesada. Este es un método poco exacto, pero sirve para tener una idea de la turbidez del agua.

#### **5.12 Tanque de carga o de presión.**



**Figura 2. 11. Tanque de presión o carga.**

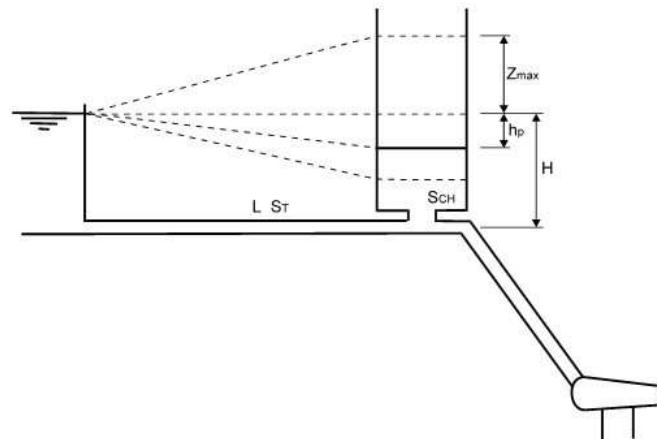
La cámara de presión es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o parada brusca de las turbinas; está conectada al canal por medio de una transición, de la cual el agua pasa a la tubería de presión a través de una rejilla que evita la entrada de elementos sólidos flotantes. Entre la rejilla y la tubería se instala una compuerta de cierre al paso del agua. Entre la compuerta y la rejilla se dejan unas ranuras en las paredes para la instalación de compuertas de apoyo como elemento de seguridad para el caso de reparaciones.

En el diseño de esta obra se debe tener en cuenta ciertos parámetros como son: el caudal, volumen del tanque, altura del agua sobre la entrada de la tubería de presión, la velocidad del agua en los elementos del tanque de presión, la topografía del terreno y la geología de la zona.

La cámara de presión cumple con las siguientes funciones:

- Crea un volumen de reserva de agua que permite satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda.
- Impide la entrada a la tubería de presión de elementos sólidos de arrastre y flotantes.
- Produce la sedimentación de los materiales sólidos en suspensión en el canal y permite su eliminación.
- Desaloja el exceso de agua en las horas en las que el caudal de agua consumido por las turbinas es inferior al caudal de diseño.
- Mantiene sobre la tubería una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire.
- Dispone de un volumen que le permite amortiguar el golpe de ariete, originado por paradas bruscas.

### 5.13 Chimenea de equilibrio o almenara.



**Figura 2. 12. Chimenea de equilibrio o almenara**

Debido a que la demanda de energía es variable en una pequeña central hidroeléctrica, es necesario regular el caudal que llega a la turbina. Esta regulación de caudal, para reducir o aumentar la potencia, genera ondas de oscilación en la tubería de presión conocidas como Golpe de Ariete, el cual es amortiguado por la chimenea de equilibrio. Para la instalación de una chimenea de equilibrio es necesario considerar que, si el tiempo de cierre de la directriz es menor que tres segundos, se requiere la chimenea de equilibrio. Para evitar la instalación de la chimenea de equilibrio se puede instalar válvulas de alivio próximas a la turbina o difusores como en el caso de una turbina Pelton.

#### 2.12.1 Funciones de la chimenea de equilibrio.

Para atenuar los efectos del golpe de ariete en las centrales hidroeléctricas, la chimenea de equilibrio es la solución más práctica y económica. Esta tiene tres funciones principales:

- Proporciona una superficie libre de reserva como recurso para compensar los efectos del golpe de ariete, reduciendo las fuertes presiones que se generan en el conducto.
- Suministra el agua adicional que requiera la turbina durante la demanda de carga, hasta que la velocidad en el conducto se haya acelerado y alcanzado de nuevo el valor de régimen.
- Almacena agua durante el período de exclusión de carga hasta que la velocidad en el conducto se haya desacelerado y alcanzado de nuevo el valor de régimen.

### 5.14 Tubería de presión.



**Figura 2. 13. Tubería de presión.**

La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en algunas ocasiones es difícil de obtener, debido a las condiciones del terreno. Este hecho obliga a ajustarse al perfil topográfico de su trazado, con el apoyo de estructuras de concreto que le ayudan a sostenerse << apoyos >> y a variar la pendiente << anclajes >>.

Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la pequeña central, es prioritario, optimizar su diseño para reducir no sólo los costos de mantenimiento sino la inversión inicial.

Para que los costos de mantenimiento sean bajos hay que colocar los soportes y los anclajes de la tubería en pendientes estables y encontrar buenos cimientos. No deberá haber peligro de erosión por desprendimientos en las laderas, pero sí acceso seguro para hacer los trabajos de mantenimiento y reparación, por ejemplo, repintado.

Para el dimensionamiento de la tubería de presión deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- El Diámetro se selecciona de acuerdo con un análisis técnico y económico que permita determinar el diámetro que causa las menores pérdidas y el de menor costo.

- El espesor se determina de acuerdo con los esfuerzos generadores por el golpe de ariete, el peso del agua y de la tubería.
- El material de la tubería permite seleccionar tuberías de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos.

La tubería de presión está compuesta por los siguientes elementos:

- Toma de Agua la cual está acompañada de una rejilla
- Codos para variación de pendiente
- Juntas de unión
- Juntas de expansión ubicadas entre anclajes, las cuales asimilan la contracción o dilatación del material por variación de temperatura
- Bifurcaciones que le permiten dividir el caudal para varias unidades
- Válvulas independientes a la tubería de presión, ubicadas entre el final de la tubería y la turbina
- Anclajes y apoyos que se encargan de sostener y variar la pendiente de la tubería de presión.

#### **5.14.1 Materiales.**

Para la selección de la tubería de presión, existen diferentes materiales que se pueden tomar en cuenta, pero al momento final de la selección siempre es mejor optimizar las prestaciones que presenta cada material con el precio del mismo, además de la disponibilidad en el mercado. Para que los costos de mantenimiento sean bajos, hay que colocar los soportes y anclajes en pendientes estables y con buenos cimientos. Estos lugares deberán tener un acceso seguro para los trabajos de mantenimiento y poca erosión en las laderas. Para seleccionar el material de la tubería de presión, hay que tener en cuenta además, las operaciones secundarias o complementarias como la pintura pues puede encarecer un proyecto. Así mismo, hay que tener en cuenta el tiempo que el material presta sus servicios pues de esto depende en un futuro el funcionamiento de la centrales hidroeléctricas de hasta 10 MW. Los siguientes son algunos de los materiales que son utilizados para la tubería de presión:

#### **5.14.1.1 Acero comercial**

Ha sido el más utilizado por muchos años y sus características principales son: factor de pérdida por fricción muy regular, resistente a impactos, la unión se la puede realizar a través de bridas, soldadura o uniones mecánicas. Si este tipo de tuberías son enterradas pueden corroerse para lo cual se recomienda revestirla con una resina especial para evitar la corrosión.

#### **5.14.1.2 Policloruro de vinilo (PVC)**

Muy utilizada en pequeñas centrales Hidráulicas y sus características principales son: es económica, resiste a presiones elevadas (100 a 150 m), es liviana y fácil de transportar lo que hace fácil su instalación y transporte, factor de pérdida muy bajo, resistente a la corrosión, puede ser dañada por impactos; además debe ser protegida de los rayos del sol para evitar deformaciones, este tipo de tubería se utiliza uniones tipo espiga o campana que se unen con pegamento o con un anillo flexible de sellado.

#### **5.14.1.3 Hierro dúctil centrifugado.**

Este tipo de hierro reemplaza a las tuberías de hierro fundido pero es costosa, difícil de instalar, peso elevado, y se unen por lo general mecánicamente. En ocasiones se reviste a las tuberías de hierro dúctil con cemento para protegerlas contra la corrosión y para darles una baja pérdida por fricción. Estas tuberías por lo general son unidas mecánicamente (casquillo empernado), con espiga campana y un sello flexible, o pueden ser embridadas.

#### **5.14.1.4 Asbesto - Cemento**

Esta tubería es frágil y adecuada para trabajar a una presión moderada. Debido a su fragilidad, su transporte e instalación requiere de cuidado. Son mucho más pesadas que las de PVC y tienen una

apreciable pérdida por fricción. Como el material con el que están fabricadas éstas tuberías es cemento reforzado con fibra de asbesto, al cortarlas, el polvo producido es perjudicial para la salud de los operarios, los que deben tener protección (ropa y máscaras) adecuada para su manipulación.

#### **5.14.1.5 Resina de poliéster y fibra de vidrio.**

Este tipo de tuberías hechas de resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con mucho cuidado. Una condición para el uso de este tipo de tubería es que se las debe instalar bajo tierra y el espacio donde van colocadas debe estar relleno con material fino. Pueden ser utilizadas con altas presiones y el tipo de unión es mediante espiga campana.

#### **5.14.1.6 Polietileno de alta densidad.**

Este tipo de tuberías son una buena alternativa frente a las de PVC. Son útiles para sistemas pequeños debido a su fácil instalación. Tienen un coeficiente de pérdidas de fricción bajo, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar. Una desventaja es la forma de unión de estas tuberías las cuales se unen calentando los extremos y fusionándolos a presión utilizando un equipo especial.

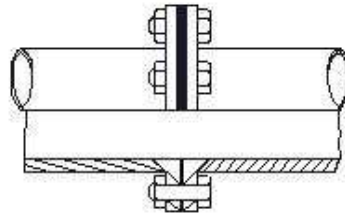
#### **5.14.2 Tipos de uniones.**

Debido a que las tuberías no vienen del tamaño requerido por el constructor sino de un tamaño estándar estas deben ser unidas entre sí para lograr cubrir las distancias del diseño:



#### 5.14.2.1 Uniones con bridas.

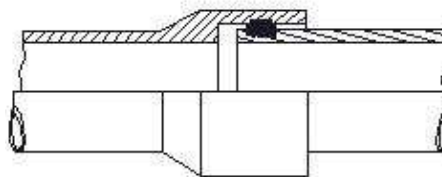
Cuando se fabrica tuberías individuales se coloca bridas en sus extremos, las cuales se empernan en el momento de su instalación. Las bridas se deben fabricar bajo normas establecidas. En cada par de bridas se necesita poner empaquetaduras de caucho para evitar fugas. Las bridas generalmente se utilizan en tubería de acero aunque también se las puede utilizar en hierro dúctil.



**Figura 2. 14. Uniones con bridas.**

#### 5.14.2.2 Espiga y campana.

Este tipo de uniones viene preparado de fábrica para que los diámetros interno y externo de cada tubería coincidan. En cada sección de tubería se pone sellos de caucho o un pegamento especial para sellarlas. El pegamento se utiliza generalmente con tuberías de PVC aunque se debe consultar con el fabricante.

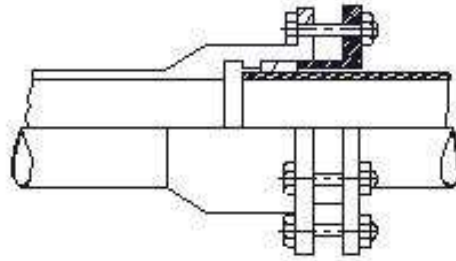


**Figura 2. 15. Unión espiga campana.**

#### 5.14.2.3 Uniones mecánicas

El principal inconveniente de este tipo de uniones es su elevado costo. Su principal aplicación es para unir tuberías de diferente material como el acero y PVC, o cuando se necesita una ligera deflexión en

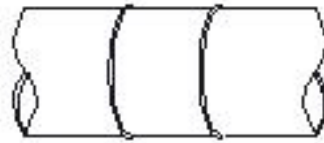
una tubería que no garantiza la colocación de un codo. Algunos tipos no pueden tolerar fuerzas en la dirección de la tubería y tienen que ser fijados con bloques de anclajes



**Figura 2. 16. Uniones mecánicas.**

#### **5.14.2.4 Uniones soldadas.**

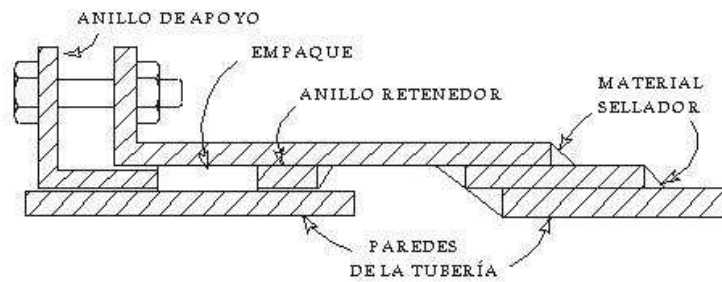
Este método de unión es muy barato con la desventaja de que requiere personal especializado además el problema que representa el llevar una soldadora de arco al lugar de la tubería de presión. En este tipo de unión es aceptable cierto grado de desalineación.



**Figura 2. 17. Uniones soldadas.**

#### **5.14.3 Juntas de expansión.**

Debido a la variación de la temperatura, en las tuberías de acero se produce una variación de longitud que provoca esfuerzos que deben ser soportados por las juntas de expansión. Generalmente, las juntas de expansión se colocan inmediatamente después del tanque de presión o del anclaje superior. Las juntas de expansión cumplen la función de compensar axialmente la dilatación o contracción lineal de tubos que sufren cambios de temperatura la cual no depende de la sección, sino más bien de la temperatura. La instalación de juntas de expansión en una tubería expuesta a cambios de temperatura, significa la liberación de la fuerza de reacción axial hacia los anclajes o puntos fijos.



**Figura 2. 18. Esquema de una junta de expansión.**

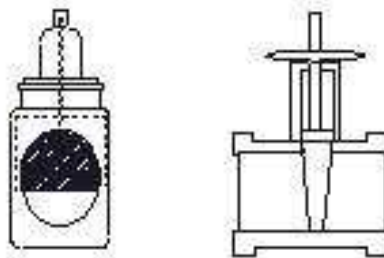
#### **5.14.4 Válvulas en la tubería de presión**

Generalmente se instalan antes de la turbina, sin embargo también suele instalarse al inicio de la tubería de presión. El propósito de su instalación es controlar el paso de agua en la tubería. Existen diferentes tipos, pero las más utilizadas son las de mariposa y de compuerta:

##### **5.14.4.1 Válvulas de compuerta.**

Estas válvulas consisten de un disco metálico que sube y baja y está ubicado en el cuerpo de la válvula. La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

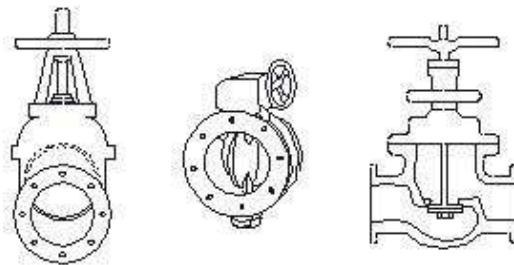
Cuando se trabaja con presiones elevadas se necesita una fuerza importante para operarla y vencer la fuerza de fricción existente. Es por esta razón que cuando se instala una válvula de compuerta al final de una tubería de presión, se instala además un bypass para conectar el lado de baja presión con el de alta.



**Figura 2. 19. Válvula de compuerta.**

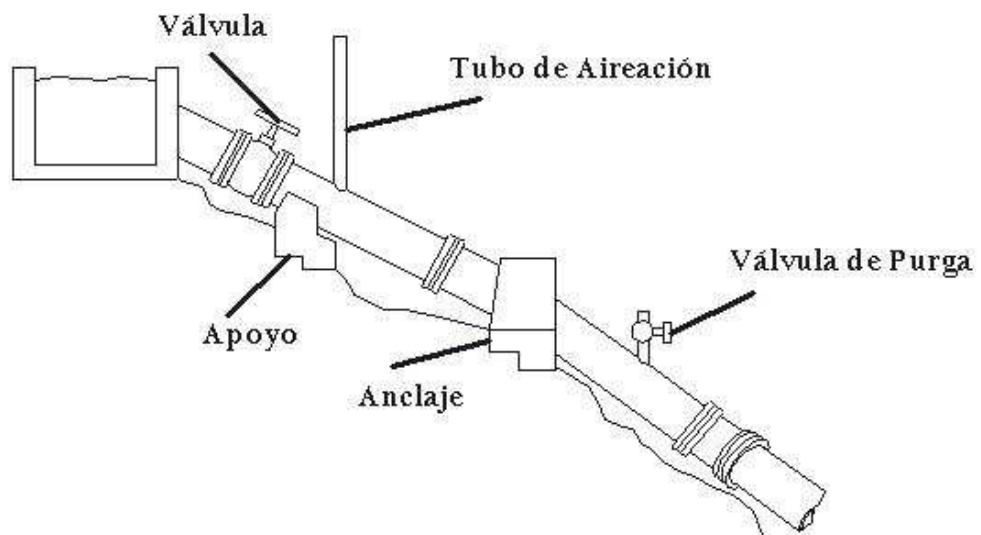
#### 5.14.4.2 Válvulas de mariposa.

Una válvula tipo mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto. Básicamente se trata de una extensión de la tubería dentro de la cual se coloca un disco en forma de lente montado en un eje central. Para operar este tipo de válvulas se requiere de poca fuerza, ya que la presión de contra corriente en cada mitad del disco está prácticamente balanceada. Debido a su diseño, una válvula de mariposa puede ser cerrada con Es importante que sea cerrada lentamente, a fin de no originar un golpe de ariete en La tubería.



**Figura 2. 20. Válvulas de mariposa.**

Finalmente, la forma de instalación de una tubería de presión se ilustra en la Figura 2.18. a continuación, donde se puede apreciar los elementos de la misma como anclajes, apoyos, válvulas, tubo de aireación y tanque de presión.



**Figura 2. 21. Esquema de instalación de la tubería de presión.**

## APOYOS Y ANCLAJES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN.

A lo largo del camino que recorre la tubería de presión desde el tanque de presión hasta la casa de máquinas, ésta tiene que adaptarse al perfil del terreno con su respectiva pendiente, a lo largo de su trayecto se soporta en apoyos de concreto, mientras que en los cambios de dirección existe un codo y un anclaje que absorbe los esfuerzos producidos por cambio de pendiente.

La profundidad de cimentación de los apoyos y anclajes debe ser tal que cualquier desplazamiento sea posible. La ubicación de apoyos va de acuerdo a un criterio técnico-económico de acuerdo al espesor de la tubería. En el caso de los anclajes lo determina el perfil de la tubería y el número de variaciones de pendiente.

### **5.15 Apoyos.**

Los apoyos en la tubería de presión son bloques de concreto que permiten el desplazamiento axial de la tubería y en el caso de pequeñas fuerzas verticales las absorbe. Estos desplazamientos se producen por la dilatación o contracción de la tubería debido a cambios de temperatura. Su dimensionamiento se debe hacer de forma tal que sea de bajo costo y fácil construcción.

### **5.16 Anclajes.**

Son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería. Pueden ser del tipo abierto cuando la tubería está a cielo abierto sujeta por piezas especiales de acero y del tipo macizo cuando la tubería se encuentra dentro del bloque de cemento. Los anclajes ajustan la tubería al perfil topográfico y a las variaciones de ángulos existentes en el perfil. En el dimensionamiento de los anclajes se toma en cuenta las diferentes fuerzas que existen a lo largo de la tubería por dilatación, peso del agua y de la tubería además del diámetro de la misma para que el bloque sea estable frente a diferentes criterios.





- $b$ : [m] Ancho local del río.
- $Q_d$ : [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño (a captar).
- $H$ : [m] Altura del azud.
- $\Delta h_d$ : [m] Altura del dentellón.
- $d_m$ : [m] Diámetro de partícula en lecho del río.

### Constantes

- $\mu = 0.75$  [adimensional] Forma de coronamiento del azud.
- $\mu_{roca} = 0.85$  [adimensional] Factor de fricción de la roca (dato geológico).
- $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>] Aceleración de la gravedad.
- $\Delta = 1.7$  [adimensional] Relación del peso específico del hormigón con el agua.

### Cálculos Internos

Cálculo de la altura de carga  $h$ , mediante la ecuación de vertedero.

$$h = \left[ \frac{3 \cdot Q_{max}}{2 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} + \left( \frac{V^2}{2 \cdot g} \right)^{3/2} \right]^{2/3} - \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.7)$$

$$h = [\text{metros}]$$

Cálculo de la velocidad del agua sobre la cresta del azud,  $V^*$ .

$$V^* = \frac{Q_{max}}{b \cdot h} \quad (3.8)$$

$$V^* = [m/s]$$

Cálculo de la carga energética  $h_e$

Este valor sirve para multiplicar con las coordenadas del perfil de Creager y obtener las dimensiones reales del azud, en las condiciones que requiera el proyecto.

$$h_e = h + \frac{V^2}{2g} \quad (3.9)$$

$$h_e = [\text{metros}]$$

Es decir:



**Tabla 3. 1. Ilustración del cálculo del perfil de Creager real.**

<b>X</b>	<b>Ordenada del azud</b>
$h_e * 0$	$h_e * 0.126$
$h_e * 0.1$	$h_e * 0.036$
$h_e * 0.2$	$h_e * 0.007$
$h_e * 0.3$	$h_e * 0.000$
$h_e * 0.4$	$h_e * 0.006$
.	.
etc.	etc.

Cálculo de la altura total del agua sobre el lecho del río  $H_e$

$$H_e = H + h_e \quad (3.10)$$

$$H_e = [m]$$

Altura de caída de agua  $\Delta h$

$$\Delta h = 1.2 * H_e \quad (3.11)$$

$$\Delta h = [m]$$

Cálculo de velocidad de caída del agua  $V_1$

$$V_1 = \sqrt{2 * g * \Delta h} \quad (3.12)$$

$$V_1 = [m/s]$$

Cálculo del caudal de agua sobre el azud [4], por metro lineal  $Q$ .

$$Q = \frac{Q_{max}}{b} \quad (3.13)$$

$$Q = \left[ \frac{m^3/s}{m} \right]$$

Cálculo de la altura del agua al final del azud  $h_1$ .

$$h_1 = \frac{Q}{V_1} \quad (3.14)$$

$$h_1 = [m]$$

Cálculo de la profundidad del colchón  $pc$ .

$$pc = |H_e - \Delta h - h_1| \quad (3.15)$$

$$pc = [m]$$

Cálculo de la cota vertical del azud  $Y_{az}$

$$Y_{az} = \Delta h + h_1 - h_e \quad (3.16)$$

$$Y_{az} = [m]$$

Este valor es llevado a la base de datos del programa para hacer una comparación con el dato inmediatamente superior de las ordenadas del azud ya multiplicado con  $h_e$ , posteriormente devolverá  $Y_{mod}$  y  $X_{mod}$  que se necesitará para cálculos posteriores.

Cálculo para determinar la primera condición de diseño del Azud.

$$h_2' = pc + \Delta h d \quad (3.17)$$

$$h_2' = [m]$$

$$h_2 = \frac{0.45 * Q}{\sqrt{h_1}} \quad (3.18)$$

$$h_2 = [m]$$

**Condiciones de diseño para el azud.**

$$\text{Si } h_2' \geq h_2 \quad \text{Entonces se escogerá el valor de } h_2' \quad (3.19)$$

Caso contrario se debe hacer las siguientes operaciones.

$$\text{Si } h_2' < h_2 \quad (3.20)$$

$$M = h_2 - h_2' \quad (3.21)$$

$$N = pc + M \quad (3.22)$$

$$h_2'' = N + \Delta h d \quad (3.23)$$

Entonces:

$$\text{Si } h_2'' \text{ o } h_2' > h_2 \quad (3.24)$$

La condición está perfecta caso contrario se aumentará  $\Delta h d$

NOTA: Para el programa, el valor de  $h_2''$  o el de  $h_2'$  serán visualizados en la casilla de  $h_2''$ , es decir las comparaciones están realizadas internamente.

Cálculo de la altura del diente al final del zampeado e.

$$e = 0.08 * h^{2/3} * H \quad (3.25)$$

$$e = [m]$$

Cálculo de la longitud de la cuenca  $L_z$

$$L_z = 5 * [(h_2'' \text{ o } h_2') - h_1] \quad (3.26)$$

$$L_z = [m]$$

Cálculo del diámetro medio del material.

Para evitar erosión en la zona posterior a la obra de toma y que el lecho del río pueda sufrir cambios bruscos en su morfología que puedan afectar al lecho mismo y al medio ambiente circundante, se realiza obras de protección que eviten estos inconvenientes:

El diámetro medio del material  $D_m$  con el que se puede proteger el cauce es:

$$V_2 = \frac{V_1 + 0.5}{2} \quad (3.27)$$

$$V_2 = [m/s]$$

$$D_m = \frac{1.4}{\Delta} * \left( \frac{V_2^2}{2 * g} \right) \quad (3.28)$$

$$D_m = [m]$$

Cálculo de la profundidad de protección  $d_s$  aguas abajo.

$$F_b = 1.76 * \sqrt{dm} \quad (3.29)$$

$$h_m = 1.34 * \left( \frac{Q_d^2}{F_b} \right)^{1/3} \quad (3.30)$$

$$d_s = 2 * h_m \quad (3.31)$$

$$d_s = [m]$$

Cálculo de la longitud de protección  $L_L$  aguas abajo.

$$L_L = 1.75 * d_s \quad (3.32)$$

$$L_L = [m]$$

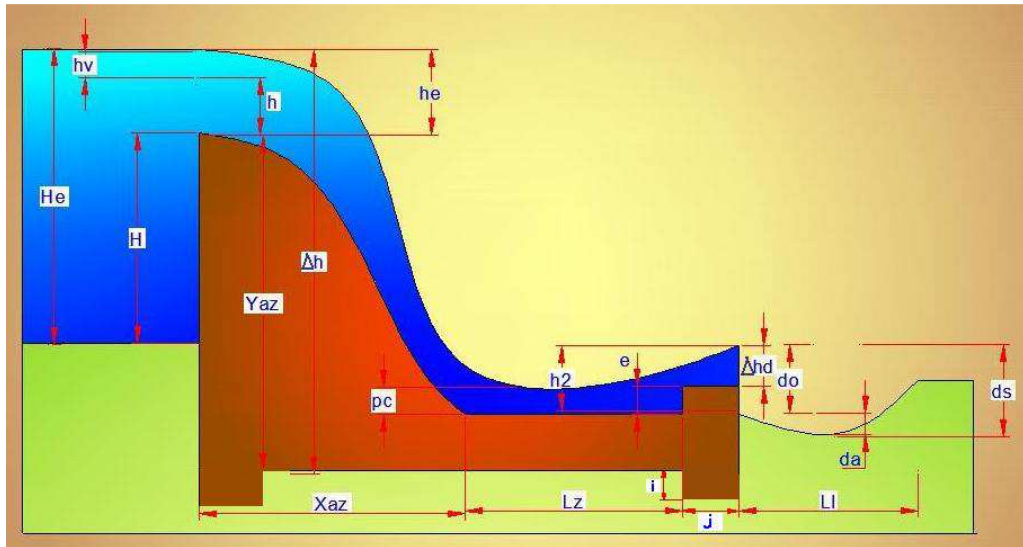
Distancias de seguridad  $d_o$  aguas abajo.

$$d_o = 2 * \Delta h d \quad (3.33)$$

$$d_o = [m]$$

$$d_a = d_s - d_o \quad (3.34)$$

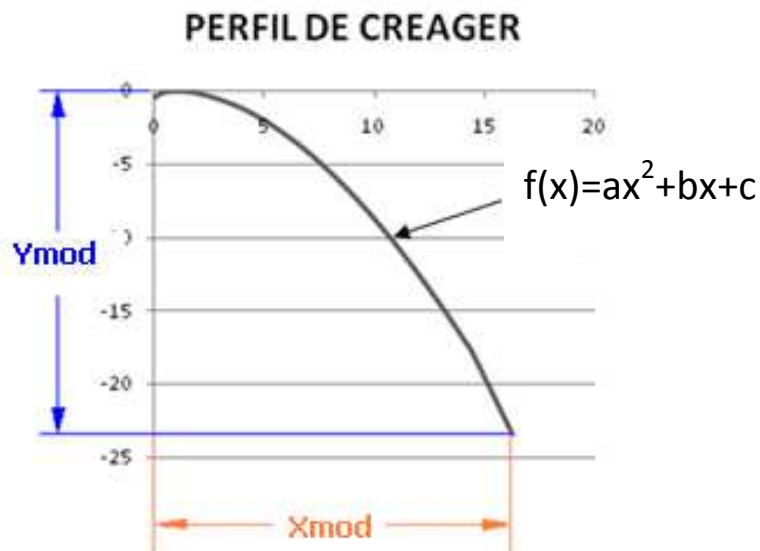
$$d_a = [m]$$



**Figura 3. 1. Dimensiones en el azud.**

#### 6.2.1.1 Condiciones de diseño y estabilidad del azud.

Para realizar las distintas condiciones de diseño se necesita tener la ecuación del azud que será  $ax^2 + bx + c$ , expresión de una parábola a la cual se asemejan las coordenadas del perfil de Creager.



**Figura 3. 2. Perfil de Creager.**

Matemáticamente el área y el momento del azud están dados por las siguientes ecuaciones.

Tomando en cuenta que

### Ecuación del área del azud.

$$A = \int_0^{X_{mod}} (Y_{mod}) dx - \int_0^{X_{mod}} (a * x^2 + b * x + c) dx \quad (3.35)$$

Solucionando la ecuación se tiene:

$$A = (Y_{mod} - c) * X_{mod} - \frac{a * X_{mod}^3}{3} - \frac{b * X_{mod}^2}{2} \quad (3.36)$$

### Ecuación del momento de la región.

$$My = \int_0^{X_{mod}} (x * (Y_{mod} - ax^2 - bx - c)) dx \quad (3.37)$$

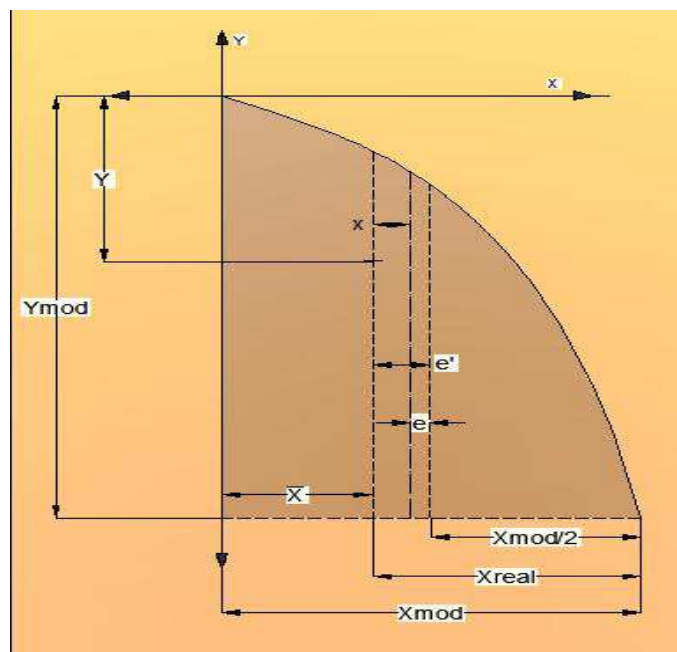
Solucionando la ecuación se tiene:

$$My = \frac{(Y_{mod} - c) * X_{mod}^2}{2} - \frac{b}{3} * X_{mod}^3 - \frac{a}{4} * X_{mod}^4 \quad (3.38)$$

Ahora se nota que existen las constantes a, b y c que no se ha calculado en ninguna instancia, estas cifras son los valores de la ecuación del perfil de Creager que van a cambiar según las condiciones del proyecto en este caso se ha escogido una ecuación de segundo grado.

Una vez obtenida las coordenadas del perfil de Creager el punto importante es sacar la ecuación en las circunstancias del proyecto para sacar las constantes a, b y c se ha utilizado un método numérico de regresión polinomial.

Cálculo del centro de gravedad, esta distancia está ubicada a partir del eje de las ordenadas.



**Figura 3. 3. Dimensiones en el perfil de Creager.**

$$\bar{X} = \frac{M_y}{A} \quad (3.39)$$

$$\bar{X} = [m]$$

$$X_{real} = X_{mod} - \bar{X} \quad (3.40)$$

$$X_{real} = [m]$$

Se calcula el peso del azud con respecto a la longitud, la cantidad de 23520 es el valor del peso específico del concreto en N/m<sup>3</sup>, y el valor negativo se pone ya que, el área calculada es negativa debido a que está en el eje negativo de las ordenadas.

$$W_T = -23520 * A \quad (3.41)$$

$$W_T = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Distancia donde esta aplicada fuerza  $\vec{P}$  desde la cresta del vertedero.

$$y = \frac{Y_{mod}}{-3} \quad (3.42)$$

$$y = [m]$$

Cálculo de la fuerza  $\vec{P}$  con respecto a la longitud.

$$\vec{P} = \varphi_w * \frac{Y_{mod}^2}{2} \quad (3.43)$$

$$\vec{P} = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

$$X = \frac{\vec{P} \cdot y}{W_T} \quad (3.44)$$

$$X = [m]$$

Cálculo de la excentricidad  $e'$  con respecto al centro del azud.

$$e' = X_{real} - \frac{X_{mod}}{2} \quad (3.45)$$

$$e' = [m]$$

El siguiente valor  $e_-$  sirve para determinar una condición del azud.

$$e_- = e' - X \quad (3.46)$$

$$e_- = [m] \quad \text{Si es positivo esta a la izquierda del centro.}$$

$$e_- = [m] \quad \text{Si es negativo esta a la derecha del centro.}$$

Cálculo que ejerce la estructura sobre la roca donde se unen las fuerzas 3 y 4 como muestra la figura

3.4

$$f_{Amax} = \frac{W_T}{|A|} * (1 + 6 * \frac{|e|}{X_{mod}}) \quad (3.47)$$

$$f_{Amax} = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$f_{Amin} = \frac{W_T}{|A|} * (1 - 6 * \frac{|e|}{X_{mod}}) \quad (3.48)$$

$$f_{Amin} = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Es decir

Resistencia de la Roca es 98000 N/m<sup>2</sup>                      Si

$$f_{Amax} < 98000 \quad OK \quad (3.49)$$

$$f_{Amin} < 98000 \quad OK \quad (3.50)$$

Caso contrario es decir:

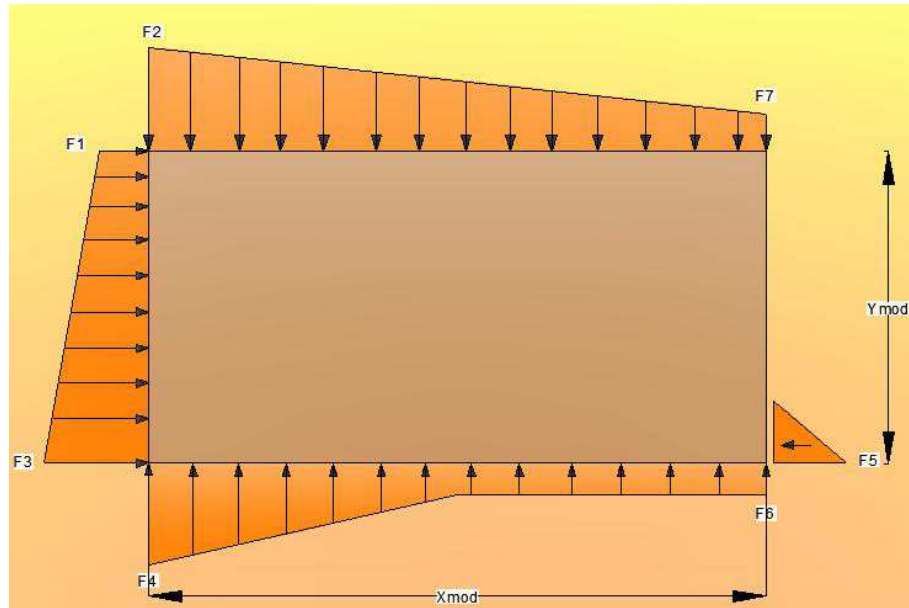
$$f_{Amax} \geq 98000 \quad o \quad (3.51)$$

$$f_{Amin} \geq 98000 \quad (3.52)$$

En el programa entregará un mensaje cambiar datos.

#### 6.2.1.1.1 Verificación del deslizamiento.

En la Figura 3.4 se ilustra las fuerzas que intervienen en el azud.



**Figura 3. 4. Fuerzas que intervienen en el azud.**

Fuerza dada por la carga energética del fluido  $F_1$ .

$$F_1 = \left( \frac{V^2}{2 \cdot g} + h \right) * \varphi_w \quad (3.53)$$

$$F_1 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Fuerza dada por la altura de carga del fluido  $F_2$ .

$$F_2 = h * \varphi_w \quad (3.54)$$

$$F_2 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Fuerza dada por la carga energética y la altura total del agua sobre el lecho del río  $F_3$ .

$$F_3 = \left( \frac{V^2}{2 \cdot 9.8} + h + H_e \right) * \varphi_w \quad (3.55)$$

$$F_3 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Fuerza dada por altura de carga y la altura total del agua sobre el lecho del río  $F_4$ .

$$F_4 = (h + H_e) * \varphi_w \quad (3.56)$$

$$F_4 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Fuerza dada por la profundidad del colchón  $F_5$ .

$$F_5 = pc * \varphi_w \quad (3.57)$$

$$F_5 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$



$$F_6 = F_5$$

$$F_7 = h_1 * \varphi_w \quad (3.58)$$

$$F_7 = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

Fuerza por las cargas horizontales a la izquierda del azud  $F_8$ .

$$F_8 = (F_3 + F_1) * \frac{H_e}{2} \quad (3.59)$$

$$F_8 = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Fuerza por la carga horizontal a la derecha del azud  $F_9$ .

$$F_9 = \frac{F_5 * p_c}{2} \quad (3.60)$$

$$F_9 = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Fuerza producida por el peso del azud  $F_{10}$ .

$$F_{10} = -A * \varphi_c \quad (3.61)$$

$$F_{10} = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Ya que el área es negativa debido al cálculo matemático dicho con anterioridad a la ecuación se le multiplica por el signo menos por no variar los datos.

Fuerza por carga vertical dirigida hacia abajo  $F_{11}$ .

$$F_{11} = (F_2 + F_7) * \frac{X_{mod}}{2} \quad (3.62)$$

$$F_{11} = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Fuerza por cargas verticales dirigidas hacia arriba  $F_{12}$ .

$$F_{12} = (F_4 + F_6) * \frac{X_{mod}}{4} + F_6 * \frac{X_{mod}}{2} \quad (3.63)$$

$$F_{12} = \left[ \frac{N}{m} \right]$$

Fuerza resultante de las cargas verticales  $F_{13}$ .

$$F_{13} = F_{10} + F_{11} - F_{12} \quad (3.64)$$

Fuerza resultante  $F_{RA}$  de las cargas horizontales.

$$F_{RA} = F_8 - F_9 \quad (3.65)$$

El peso actuando sobre la roca tiene un coeficiente de fricción de  $\mu_{roca} = 0.85$

$$F_{RB} = F_{13} * \mu_{roca} \quad (3.66)$$

Y por último se calcula el coeficiente de seguridad, para determinar si el diseño está bien hecho.

$$\eta_d = \frac{F_{RB}}{F_{RA}} \quad (3.67)$$

$\eta_d \rightarrow$  Factor de seguridad para deslizamiento.

#### 6.2.1.1.2 Verificación al volteo. [4]

Se calcula los momentos con respecto al punto O.

$$M_{O1} = F_1 * \frac{H_e^2}{2} + (F_4 - F_2) * \frac{H_e^2}{6} \quad (3.68)$$

$$M_{O1} = [N]$$

$$M_{O2} = F_6 * \frac{X_{mod}^2}{2} + [F_4 - F_6] * \frac{X_{mod}}{4} * \left( \frac{X_{mod}}{2} + \frac{X_{mod}}{3} \right) \quad (6.69)$$

$$M_{O2} = [N]$$

$$\Sigma M_v = M_{O1} + M_{O2} \quad (3.70)$$

$$\Sigma M_v = [N]$$

Este es el momento total de volteo.

Cálculo el momento total resistente  $M_{concreto}$ .

$$M_{concreto} = \bar{X}_{real} * W_T \quad (3.71)$$

$$M_{concreto} = [N]$$

$$\Sigma M_R = F_7 * \frac{X_{mod}^2}{2} + (F_2 - F_7) * \frac{X_{mod}^2}{3} \quad (3.72)$$

$$\Sigma M_R = [N]$$

$$M_z = M_{concreto} + \Sigma M_R \quad (3.73)$$

$$M_z = [N]$$

Por lo tanto el factor de seguridad por volteo es:

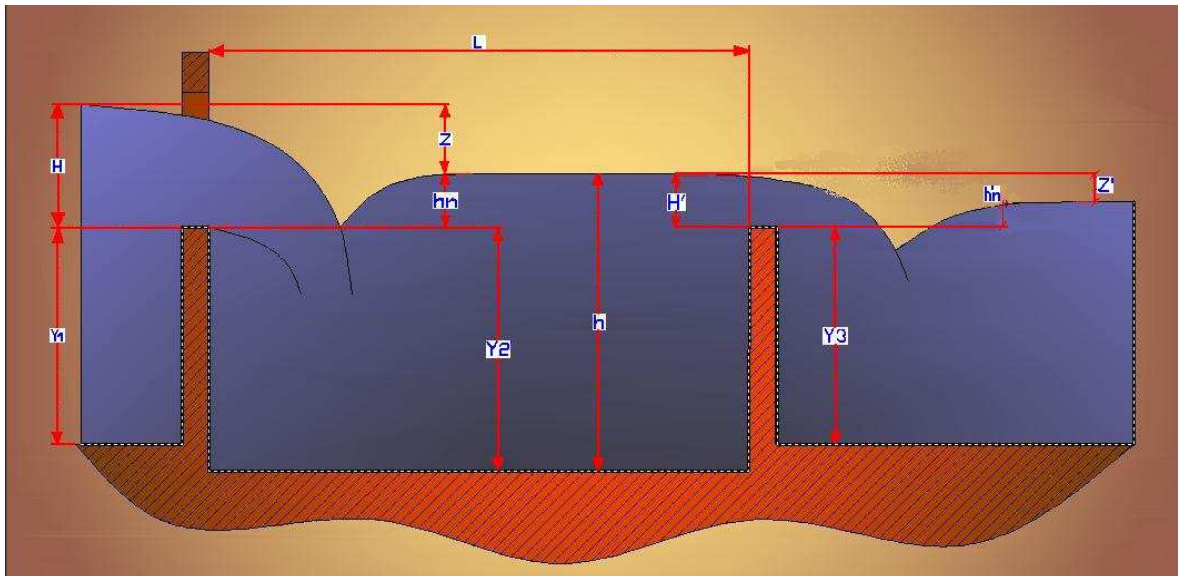
$$\eta_{volteo} = \frac{M_z}{\Sigma M_v} \quad (3.74)$$

$\eta_{volteo} \rightarrow$  Factor de seguridad.



$a' = 7$ ; rejas finas $e = 1 \frac{1}{2}''$	7	1.5
$a' = 8$ ; rejas finas $e = 1 \frac{1}{2}''$	8	1.5
$a' = 9$ ; rejas finas $e = 1 \frac{1}{2}''$	9	1.5
$a' = 10$ ; rejas finas $e = 1 \frac{1}{2}''$	10	1.5

- $e$ : [pulgadas]      Espesor de varilla o platina <<Este valor se tiene que escoger del programa en un inbox >>
- $b_c$ : [m]      Ancho del canal.
- $h'_n$ : [m]      Altura del agua después del vertedero.
- $Y_3$ : [m]      Altura del vertedero.
- $Z'$ : [m]      Altura con respecto al borde de agua del vertedero.
- $Q_m$ : [m<sup>3</sup>/s]      Caudal medio anual.
- $h'$ : [m]      Altura de la ventana de la toma.
- $S$ :      Coeficiente de sumersión.



**Figura 3. 6. Dimensiones en el desripador.**

**Constantes:**

- $C_o = 0.9$  [adimensional]      Coeficiente por pérdidas en los barrotes.
- $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>]      Aceleración de la gravedad.

**Cálculos internos:**

Cálculo de la altura  $Y_1$  sobre el lumbral.

$$Y_1 = H - H_a \quad (3.75)$$

$$Y_1 = [m]$$

NOTA: el valor de H viene dado del valor de entrada de cálculo del azud.

El coeficiente M para un vertedero según KONOVALOV está dado por:

$$M = \left[ 0.407 + \frac{0.045 * H}{H + Y_1} \right] * \left[ 1 + 0.285 * \left( \frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right] * \sqrt{2g} \quad (3.76)$$

Cálculo de la elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta es:

$$h_n = H - Z \quad (3.77)$$

$$h_n = [m]$$

Cálculo del coeficiente S de corrección de sumersión según VILLAMONTE.

$$S = \left( 1 + \left( \frac{h_n}{Y_2} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^{0.385} \quad (3.78)$$

Cálculo del coeficiente S de corrección de sumersión según BAZIN.

$$S = 1.05 * \left( 1 + 0.2 * \left( \frac{h_n}{Y_2} \right) \right) * \left( \frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.79)$$

Altura del agua h en el desripiador es:

$$h = Y_2 + h_n \quad (3.80)$$

$$h = [m].$$

Cálculo del ancho  $b_1$  de la toma de agua.

$$b_1 = \frac{Q}{C_o * S * M * H^{\frac{3}{2}}} \quad (3.81)$$

$$b_1 = [m]$$

Para determinar el número de espacios n se tiene la siguiente ecuación.

$$n = \frac{b_1}{a} * 100 \quad (3.82)$$

NOTA: Este valor estará redondeado en el programa.

Cálculo del número N de barrotes.

$$N = n - 1 \quad (3.83)$$

Cálculo del ancho total B de la reja de la toma de agua.

$$B = b_1 + N * e * 0.025 \quad (3.84)$$

$$B = [m]$$

### 6.2.3 Diseño de la bocatoma de fondo. [3]

#### Datos a ingresar:

- Qd: [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño.
- b: [m] Ancho del vertedero.
- ho: [m] Nivel mínimo en épocas de sequía.
- $\mu$ : [0.68 – 0.85] Coeficiente de derrame.
- $a_m$ : [0.1 - 0.2] Ancho muro de contención.
- h': [m] Altura de pared.
- $\beta$  = Ángulo de inclinación de la rejilla <<Este valor se tiene que escoger del programa en un inbox >>

#### Mensaje del inbox

*“Ángulo de inclinación de la rejilla en °”*

**Tabla 3. 3. Ángulo de inclinación de la rejilla.**

Datos a visualizar	Datos de base $\beta$	Datos de base x
0	0	1
2	2	0.980
4	4	0.964
6	6	0.944
8	8	0.927
10	10	0.910
12	12	0.894
14	14	0.879
16	16	0.865
18	18	0.851
20	20	0.837
22	22	0.825
24	24	0.812
26	26	0.8

- a: [cm] Espaciamiento de barras <<Este valor se tiene que escoger del programa en un inbox >>
- e: [plg] Espesor de las barras <<Este valor se tiene que escoger del programa en un inbox >>

*Mensaje del inbox*

*“Apertura de barrotes [cm] y espesor de rejilla [plg]”*

**Tabla 3. 4. Apertura de barrotes y espesor de rejilla.**

<b>Datos a visualizar</b>	<b>Datos de base a</b>	<b>Datos de base e</b>
a =1 ; rejas finas e= 3/8’’	1	0.375
a =2 ; rejas finas e= 3/4’’	2	0.75
a =3 ; rejas finas e= 3/4’’	3	0.75
a =4 ; rejas finas e= 1 1/2’’	4	1.5
a =5 ; rejas finas e= 1 1/2’’	5	1.5
a =6 ; rejas finas e= 1 1/2’’	6	1.5
a =7 ; rejas finas e= 1 1/2’’	7	1.5
a =8 ; rejas finas e= 1 1/2’’	8	1.5
a =9 ; rejas finas e= 1 1/2’’	9	1.5
a =10 ; rejas finas e= 1 1/2’’	10	1.5

**Cálculos internos:**

Cálculo de la altura inicial del agua h.

$$h = \frac{2}{3} * x * h_o \quad (3.85)$$

$$h = [m]$$

A continuación esta el cálculo de la distancia d entre ejes de las barras.

$$d = \frac{a}{100} + (e * 0.025) \quad (3.86)$$

$$d = [m]$$

Cálculo del coeficiente c de contracción.

$$c = 0.6 * \left( \frac{a}{100*d} \right) * (\cos \beta)^{3/2} \quad (3.87)$$

$$c = [adimensional]$$

Cálculo de la longitud L teórica de la rejilla.

$$L = \frac{Qd}{c*\mu*b*(2*g*h)^{1/2}} \quad (3.88)$$

$$L = [m]$$

Para evitar que hojas y otros elementos puedan reducir el área de captación se aumenta en 20% la longitud de la rejilla. [3]

$$L' = 1,2 * L \quad (3.89)$$

Cálculo del número n de espacios entre barrotes.

$$n = \frac{100*b}{a} \quad (3.90)$$

NOTA: Este valor estará redondeado en el programa.

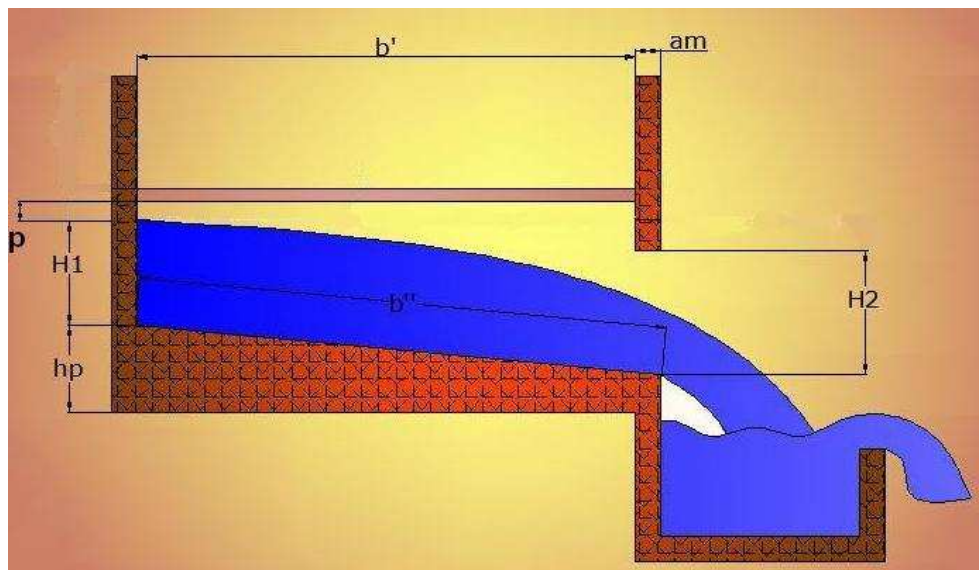
Cálculo del número N de barrotes.

$$N = n + 1 \quad (3.91)$$

Cálculo del ancho real de la rejilla b'.

$$b' = b + N * e * 0.025 \quad (3.92)$$

$$b' = [m]$$



**Figura 3. 7. Parámetros en la bocatoma de fondo o rejilla.**

El ancho del canal colector de la toma de agua B con una pendiente interna del 5 ° es igual a:

$$B = L' * \cos \beta \quad (3.93)$$

$$B = [m]$$

La profundidad crítica  $Y_c$  del canal es:

$$Y_c = \left( \frac{Qd^2}{g*B^2} \right)^{1/3} \quad (3.94)$$



$$Y_c = [m]$$

Cálculo de la velocidad crítica del canal  $V_c$ .

$$V_c = (g * Y_c)^{1/2} \quad (3.95)$$

$$V_c = [m/s]$$

Luego se calcula la altura  $H_2$  del agua al final del canal.

$$H_2 = 1.1 * Y_c \quad (3.96)$$

$$H_2 = [m]$$

Cálculo del rango de seguridad  $P$  para el canal.

$$P = 0.5 * H_2 \quad (3.97)$$

$$P = [m]$$

Cálculo de la longitud  $b''$  del canal.

$$b'' = \frac{(b' + a_m)}{0.9962} \quad (3.98)$$

$$b'' = [m]$$

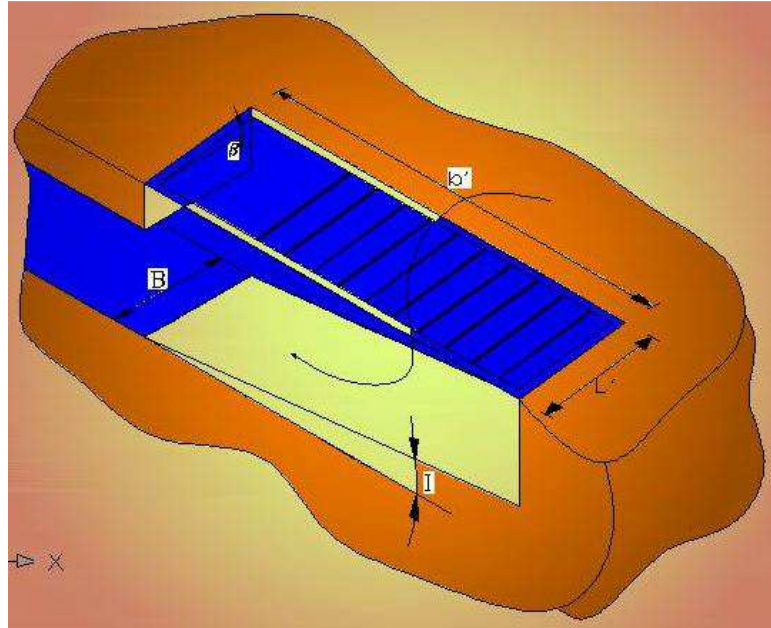
El valor de 0.9962 viene del coseno de  $5^0$  debido a la inclinación del canal.

La distancia correspondiente a la altura del canal es:

$$h_p = 0.08715 * b'' \quad (3.99)$$

$$h_p = [m]$$

El valor de 0.08715 viene del seno de  $5^0$  debido a la inclinación del canal.



**Figura 3. 8. Inclinación en el canal interno de la bocatoma de fondo**

Cálculo de la altura inicial del canal  $H_1$ .

$$H_1 = \sqrt{\frac{2*Y_c^3}{H_2} + \left(H_2 - \frac{b''*0.087488}{3}\right)^2} - \frac{2*b''*0.087488}{3} \quad (3.100)$$

$$H_1 = [m]$$

Cálculo de la velocidad final  $V_f$  del agua.

$$V_f = \frac{Qd}{H_2*B} \quad (3.101)$$

$$V_f = \left[\frac{m}{s}\right]$$

Condición de velocidad

Si  $V_f < V_c$  las ecuaciones están perfectas caso contrario se modifica datos.

**Condiciones de posición**



$Y_p > 0.5H$   $\Rightarrow$  En el programa saldrá un mensaje: "variar datos en rejilla".

### 6.3 Desripiador de bocatoma convencional. [3]

#### Datos a ingresar:

- $h'_n$ : [m] Elevación del agua bajo el vertedero de la cresta.
- $Z'$ : [m] Desnivel entre superficie de aguas.
- $Y_3$ : [m] Altura del vertedero a la salida.
- $Y_2$ : [m] Altura intermedia del vertedero.

#### Cálculos:

Cálculo de la altura del agua arriba del vertedero  $H'$ .

$$H' = h'_n + Z' \quad (3.106)$$

$$H' = [m]$$

Cálculo del coeficiente de corrección de sumersión según BAZIN  $S'$ .

$$S' = 1.05 * \left( 1 + 0.2 \left( \frac{h'_n}{Y_3} \right) \right) * \left( \frac{Z'}{H'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.107)$$

Cálculo del coeficiente  $M'$  según Konovalov.

$$M' = \left[ 0.407 + \frac{0.045 * H'}{H' + Y_2} \right] * \left[ 1 + 0.285 \left( \frac{H'}{H' + Y_2} \right)^2 \right] * \sqrt{2g} \quad (3.108)$$

Cálculo del ancho del vertedero  $b_2$

$$b_2 = \frac{Qd}{S' * M' * H'^{3/2}} \quad (3.109)$$

$$b_2 = [m]$$

#### Transición.

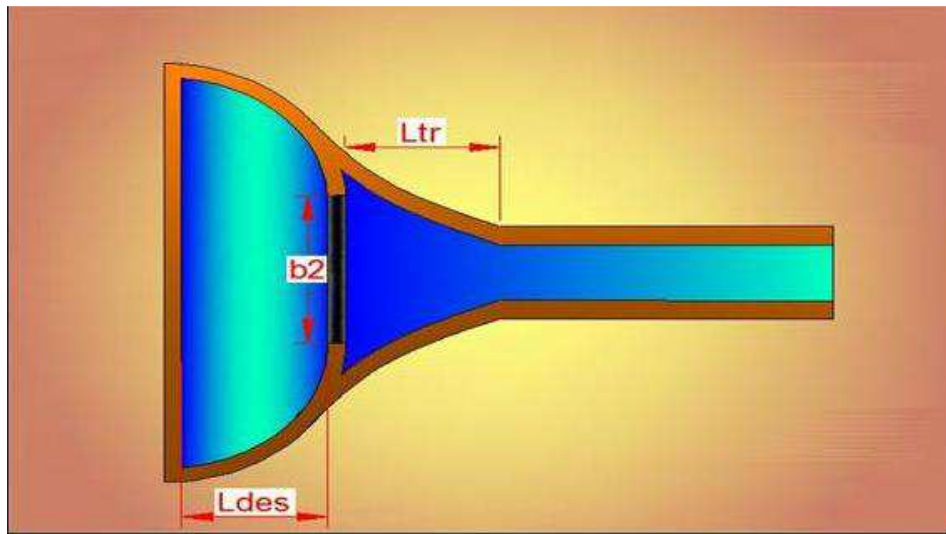
Esta longitud sirve para reducir las pérdidas de carga originadas por el paso del agua, la distancia  $L_{des}$  es la transición entre la rejilla y el vertedero.

$$L_{des} = \left| \frac{b_1 - b_2}{0.4434} \right| \quad (3.110)$$

Según Bureau of reclamation recomienda que el ángulo máximo entre el eje del canal y la línea que une los puntos de la transición correspondientes a la entrada del vertedero y a la salida a la conducción no sea superior a  $12.5^\circ$ . [3]

El valor de 0.4434 viene dado por el doble de la tangente de  $12.5^\circ$

$$L_{des} = [m]$$



**Figura 3. 10. Desripiador en la bocatoma convencional.**

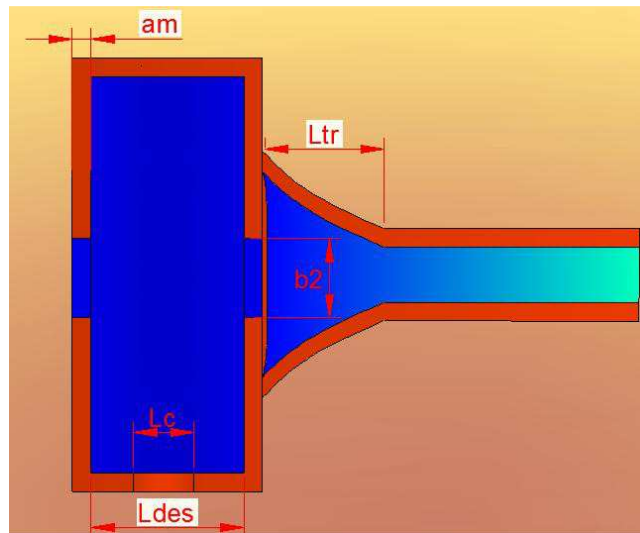
**Transición.**

Cálculo de la longitud de transición  $L_{TR}$  entre el vertedero y el canal.

$$L_{Tr} = \left| \frac{b_2 - b_c}{0.4434} \right| \quad (3.111)$$

$$L_{Tr} = [m]$$

#### **6.4 Desripiador de bocatoma con rejilla o de fondo.**



**Figura 3. 11. Desripiador en la bocatoma de fondo**

**Datos a ingresar:**

- $h'_n$ : [m] Elevación del agua bajo el vertedero de la cresta.
- $Z'$ : [m] Desnivel entre superficie de aguas.
- $Y_3$ : [m] Altura del vertedero a la salida.
- $Y_2$ : [m] Altura intermedia del vertedero.

**Cálculos:**

Cálculo de la altura  $H'$  del agua arriba del vertedero

$$H' = h'_n + Z' \quad (3.112)$$

$$H' = [m]$$

Cálculo del coeficiente de corrección de sumersión según BAZIN  $S'$ .

$$S' = 1.05 * \left( 1 + 0.2 * \left( \frac{h'_n}{Y_3} \right) \right) * \left( \frac{Z'}{H'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.113)$$

Cálculo del coeficiente  $M'$  según Konovalov.

$$M' = \left[ 0.47 + \frac{0.045 * H'}{H' + Y_2} \right] * \left[ 1 + 0.285 * \left( \frac{H'}{H' + Y_2} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * g} \quad (3.114)$$

Cálculo del ancho  $b_2$  del vertedero.

$$b_2 = \frac{Q}{S' * M' * H'^{3/2}} \quad (3.115)$$

$$b_2 = [m]$$

### Transición:

La longitud de transición sirve para reducir las pérdidas de carga originadas por el paso del agua.

Se calcula la longitud del desripiador  $L_{des}$ .

$$L_{des} = \left| \frac{B-b_2}{0.4434} \right| \quad (3.116)$$

Según Bureau of reclamation recomienda que el ángulo máximo entre el eje del canal y la línea que une los puntos de la transición correspondientes a la entrada del vertedero y a la salida a la conducción no sea superior a  $12.5^\circ$ . [3]

El valor de 0.4434 viene dado por el doble de la tangente de  $12.5^\circ$

$$L_{des} = [m]$$

Cálculo de la longitud de transición  $L_{TR}$  entre el canal y el vertedero.

$$L_{Tr} = \left| \frac{b_2-b_c}{0.4434} \right| \quad (3.117)$$

$$L_{Tr} = [m]$$

## 6.5 Conducción.

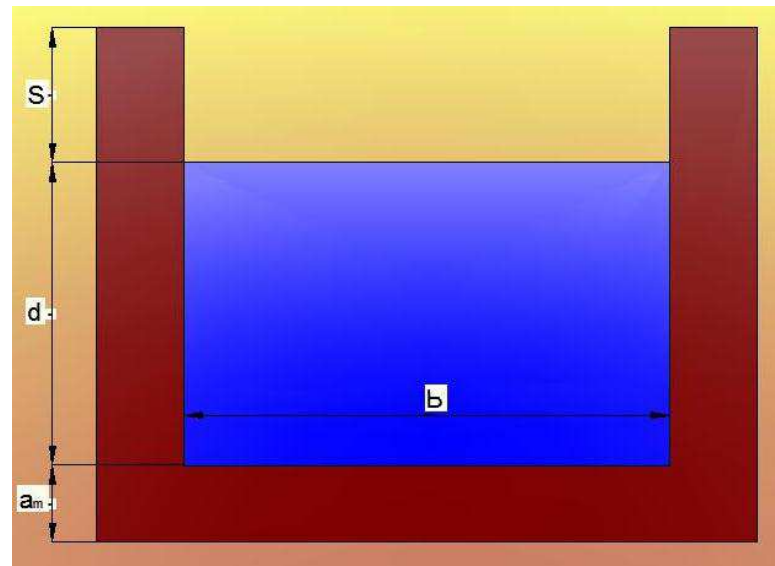
Para este diseño se ha tomado tres tipos de conducción los mismos que son:

Canal Rectangular.

Canal Trapezoidal.

Conducción por tubería.

### 6.5.1 Diseño de canal de conducción rectangular.



**Figura 3. 12. Canal de conducción rectangular**

#### Datos a ingresar:

- $p$ : [%] Pendiente del canal.
- $Q$ : [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] Caudal diseño.
- $L$ : [m] Longitud del canal.
- $V_c$ : [ $0.7 - 2$ ]m/s Velocidad en canal.
- $V_{\text{max}}$ : [m/s] Velocidad máxima.

Se escoge una velocidad máxima sea por según el tipo del suelo o según por el revestimiento, << Este valor es escogido en el programa a través de un inbox >>

**Mensaje del inbox**  $\longrightarrow$  “*velocidad máxima m/s con tipo de suelo*”

**Tabla 3. 5. Velocidad máxima [m/s] con tipo de suelo.**

Datos a visualizar	Datos de base $V_{\text{max}}$
Lodo	0.15
Barro suelto	0.2
Arena fina (0.02-0.2)mm	0.4
Arena media (0.2-0.5)mm	0.5
Limo arenoso (natural)	0.6



Arena gruesa (2-5)mm	0.65
Grava muy arenosa	0.8
Limo compacto (natural)	1
Grava media (5-20)mm	1.15
Tierra arcillosa granosa (natural)	1.3
Grava gruesa, piedras (20-50)mm	1.6
Piedras (50-75)mm	1.8
Cantos rodados (75-100)mm	2
Césped/prado, bien radocado	1.8

Datos de la velocidad máxima según el revestimiento.

mensaje del inbox —————> “velocidad máxima m/s con revestimiento”

**Tabla 3. 6. Velocidad máxima [m/s] con revestimiento.**

<b>Datos a visualizar</b>	<b>Datos de base V<sub>max</sub></b>
Concreto (mucha arena)	2
Concreto (agua sin arena)	4
Mampostería con piedras sentadas	5

Se elige un coeficiente que servirá para cálculos posteriores que dependen del material del cauce del canal.

Mensaje del inbox —————> “ n según el material de cause ”

**Tabla 3. 7. Coeficiente n según el material.**

<b>Datos a visualizar</b>	<b>Datos de base n</b>
Roca áspera	0.040
Roca igualadas las asperezas	0.033
Canales grandes en buen estado	0.0225
Canales grandes en estado regular	0.025
Canales grandes en mal estado	0.0275
Canales malos semiderrumbados	0.03
Canal irregular con vegetación	0.035
Madera cepillada	0.013
Madera sin cepillar	0.015
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.014
Hormigón con huellas de tablas	0.016
Hormigón alisado	0.012
Mampostería, piedra	0.0225
Gaviones	0.027
Ladrillo enlucido	0.015

### Cálculos Internos:

Primero se da un margen de seguridad en el caudal de diseño en este caso tenemos un 20% [3].

$$Qd' = 1.2 * Qd \quad (3.118)$$

Con la velocidad del canal una vez escogida se calcula el área A con la siguiente ecuación.

$$A = \frac{Qd'}{v_c} \quad (3.119)$$

$$A = [m^2]$$

Cálculo del calado d, que no es más que la altura del agua que pasa por el canal.

$$d = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (3.120)$$

$$d = [m]$$

Cálculo del ancho del canal en el fondo b.

$$b = 2 * d \quad (3.121)$$

$$b = [m]$$

Ancho del canal en la parte superior B<sub>c</sub>.

$$B_c = b \quad (3.122)$$

$$B_c = [m]$$

Cálculo del área mojada del canal A<sub>m</sub>.

$$A_m = b * d \quad (3.123)$$

$$A_m = [m^2]$$

Cálculo del perímetro mojado P<sub>m</sub>.

$$P_m = b + 2 * d \quad (3.124)$$

$$P_m = [m]$$

Determinación del radio hidráulico R.

$$R = \sqrt{\frac{A}{8}} \quad (3.125)$$

$$R = [m]$$

Cálculo de la altura de seguridad  $S$  del canal en este caso se ha escogido un treinta por ciento del calado<sup>2</sup>.

$$S = 0.3 * d \quad (3.126)$$

$$S = [m]$$

A continuación se efectúa el cálculo de la velocidad real.

La pendiente  $j'$  se la divide para 100 para tener este dato en función del gradiente.

$$j' = \frac{p}{100} \quad (3.127)$$

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j'^{1/2} \quad (3.128)$$

$$v = [m/s]$$

Se realiza la primera comparación de diseño.

Si

$$v < V_{max} \quad \text{Diseño correcto.} \quad (3.129)$$

Caso contrario se modificara los datos de entrada.

Cálculo del desnivel del canal.

$$\theta = \text{Arc tan} \left( \frac{p}{100} \right) \quad (3.130)$$

$$D_c = L * \sin \theta \quad (3.131)$$

$$D_c = [m]$$

Las pérdidas en el canal corresponden al desnivel del mismo.

$$H_r = D_c \quad (3.132)$$

Cálculo del encofrado en el canal rectangular.

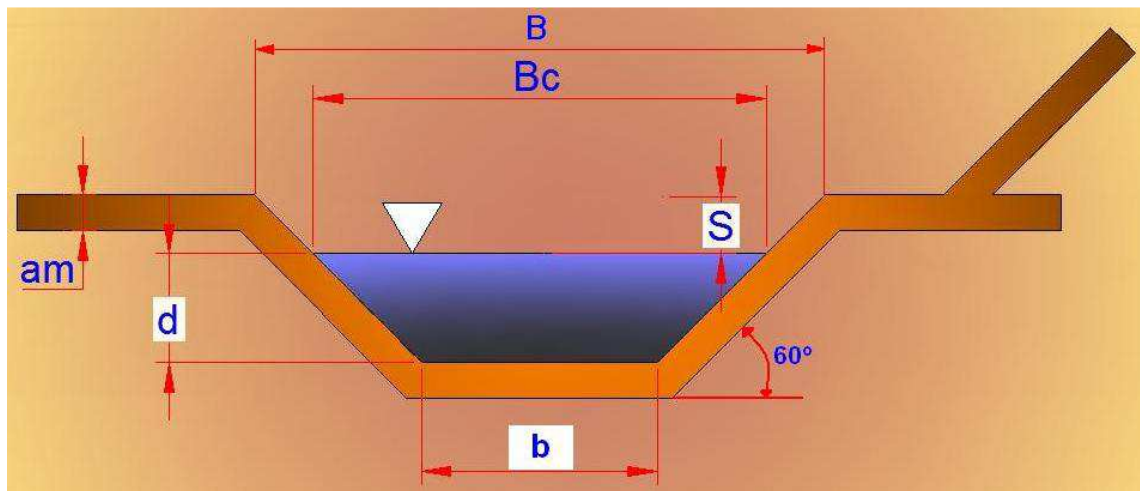
$$E = (S + d + a_m) * (2 * L + 2 * b) * 2 \quad (3.132a)$$

$$E = m^2$$

---

<sup>2</sup> En general varía entre 5% y 30% del calado y es tanto mayor cuanto mayor es el caudal y la velocidad en el canal; según Sviatoslav Crochin.

### 6.5.2 Diseño de canal de conducción trapezoidal.[1]



**Figura 3. 13. Canal de conducción trapezoidal.**

#### Datos a ingresar:

- $p$ : [%] Pendiente del canal.
- $Q$ : [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] Caudal diseño.
- $L$ : [m] Longitud del canal.
- $V_c$ : [0.7 - 2] [m/s] Velocidad en canal.
- $V_{\text{max}}$ : [m/s] Velocidad máxima.

Velocidad máxima por el tipo del suelo o según por el revestimiento, <<Este valor se tiene que escoger del programa en un inbox >>

**Mensaje del inbox** —————→ “*velocidad máxima m/s con tipo de suelo*”

**Tabla 3. 8. Velocidad máxima [m/s] con tipo de suelo.**

Datos a visualizar	Datos de base $V_{\text{max}}$
Lodo	0.15
Barro suelto	0.2
Arena fina (0.02-0.2)mm	0.4
Arena media (0.2-0.5)mm	0.5
Limo arenoso (natural)	0.6
Arena gruesa (2-5)mm	0.65
Grava muy arenosa	0.8
Limo compacto (natural)	1

Grava media (5-20)mm	1.15
Tierra arcillosa granosa (natural)	1.3
Grava gruesa, piedras (20-50)mm	1.6
Piedras (50-75)mm	1.8
Cantos rodados (75-100)mm	2
Césped/prado, bien radocado	1.8

Tabla de la velocidad máxima según el revestimiento.

mensaje del inbox → “ velocidad máxima m/s con revestimiento”

**Tabla 3. 9. Velocidad máxima [m/s] con revestimiento.**

Datos a visualizar	Datos de base Vmax
Concreto (mucha arena)	2
Concreto (agua sin arena)	4
Mampostería con piedras sentadas	5

Posteriormente se selecciona un coeficiente que servirá para cálculos posteriores que dependen del material del cauce del canal.

Mensaje del inbox → “ n según el material de cause ”

**Tabla 3. 10. Coeficiente n según el material de cause.**

Datos a visualizar	Datos de base n
Roca áspera	0.040
Roca igualadas las asperezas	0.033
Canales grandes en buen estado	0.0225
Canales grandes en estado regular	0.025
Canales grandes en mal estado	0.0275
Canales malos semiderrumbados	0.03
Canal irregular con vegetación	0.035
Madera cepillada	0.013
Madera sin cepillar	0.015
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.014
Hormigón con huellas de tablas	0.016
Hormigón alisado	0.012
Mampostería, piedra	0.0225
Gaviones	0.027
Ladrillo enlucido	0.015

**Cálculos Internos:**

El valor de  $m = 0.57735$  viene dado por el ángulo más ventajoso, que es de  $60^0$ , con la horizontal.

Margen de seguridad en el caudal de diseño en este caso tenemos un 20% [3].

$$Qd' = 1.2 * Qd \quad (3.133)$$

$$Qd' = \left[ \frac{m}{s^3} \right]$$

Con la velocidad del canal una vez escogida se procede a sacar el área con la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Qd'}{V_c} \quad (3.134)$$

$$A = [m^2]$$

Cálculo del calado del canal d.

$$d = \sqrt{\frac{A}{-m+2*\sqrt{1+m^2}}} \quad (3.135)$$

$$d = [m]$$

Cálculo del ancho del canal en la parte inferior b.

$$b = 2 * d * (\sqrt{1+m^2} - m) \quad (3.136)$$

$$b = [m]$$

Cálculo del ancho del canal en la parte superior  $B_c$ .

$$B_c = b + 2 * d * m \quad (3.137)$$

$$B_c = [m]$$

Cálculo del área mojada  $A_m$ .

$$A_m = b * d + m * d^2 \quad (3.138)$$

$$A_m = [m^2]$$

Cálculo del perímetro mojado  $P_m$ .

$$P_m = b + 2 * d * \sqrt{1+m^2} \quad (3.139)$$

$$P_m = [m]$$

Con siguiente ecuación se calcula el radio hidráulico R.

$$R = 0.5 * d \quad (3.140)$$

$$R = [m]$$

Por cualquier inconveniente de emergencia se calcula la altura de seguridad  $S$ , con un 30% del calado<sup>3</sup>.

$$S = 0.3 * d \quad (3.141)$$

$$S = [m]$$

Cálculo de la velocidad real.

La pendiente  $j'$  se la divide para 100 para tener este dato en función del gradiente.

$$j' = \frac{p}{100} \quad (3.142)$$

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j'^{1/2} \quad (3.143)$$

$$v = [m/s]$$

Se realiza la primera comparación de diseño, Si

$$v < V_{max} \quad \text{El diseño es correcto.} \quad (3.144)$$

Caso contrario se modificará los datos de entrada.

Se calcula a continuación el desnivel del canal  $D_c$ .

$$\theta = \text{Arc tan} \left( \frac{p}{100} \right) \quad (3.145)$$

$$D_c = L * \sin \theta \quad (3.146)$$

$$D_c = [m]$$

Las pérdidas en el canal  $H_r$  corresponden al desnivel del mismo.

$$H_r = D_c \quad (3.147)$$

Cálculo del ancho del canal  $B$  en la parte superior.

$$x = \tan 30 * S \quad (3.148)$$

$$B = 2 * x + B_c \quad (3.149)$$

$$B = [m]$$

Cálculo del encofrado en el canal trapezoidal.

$$E = (S + d + a_m) * (2 * L + 2 * B) * 2 \quad (3.149a)$$

---

<sup>3</sup> En general varía entre 5% y 30% del calado y es tanto mayor cuanto mayor es el caudal y la velocidad en el canal; según Sviatoslav Crochin.

$$E = m^2$$

### 6.5.3 Conducción por tubería.[6]

El agua captada por cualquiera de las dos bocatomas debe ser transportada hacia el desarenador o el tanque de presión para eso se debe tener la diferencia de niveles entre las obras donde se va a hacer la conducción de la tubería, para ello los primeros datos que se necesita son las alturas de las dos obras donde se pondrá la conducción, además la tubería usada será de PVC por razones económicas.

#### Datos a ingresar:

- $H_A$ : [Msnm]                      Altura en captación.
- $H_B$ : [Msnm]                      Altura en desalojo del fluido.
- $Q_d$ : [ $m^3/s$ ]                      Caudal de diseño.
- $L_T$ : [m]                              Longitud de la tubería.
- No de codos de  $45^\circ$ .
- No de codos de  $90^\circ$ .
- No de uniones.

#### Constantes:

- $K_{es} = 1.5$  [adimensional]                      Pérdidas por entrada y salida.
- $K_{45} = 0.42$  [adimensional]                      Pérdidas por codo de  $45^\circ$ .
- $K_{90} = 0.9$  [adimensional]                      Pérdidas por codo de  $90^\circ$ .
- $K_u = 0.3$  [adimensional]                      Pérdidas por unión.
- $g = 9.8$  [ $m/s^2$ ]                      Aceleración de la gravedad.
- $\lambda_i = 0.001$  [adimensional]                      Coeficiente de fricción para inicializar.
- $\pi = 3.141592$  [adimensional]                      Constante.
- $k = 1.5 \cdot 10^{-6}$  [m]                      Coeficiente de rugosidad para el PVC.

#### Cálculos Internos:



Cálculo del desnivel  $H_1$  entre dos obras en conducción.

$$H_1 = H_A - H_B \quad (3.150)$$

$$H_1 = [m]$$

Sumatoria de las pérdidas  $\sum K$  según el número de accesorios.

$$\sum K = (\text{No de codos de } 45^\circ) * K_{45} + (\text{No de codos de } 90^\circ) * K_{90} + (\text{No de uniones}) * K_u + K_{es} \quad (3.151)$$

La ecuación de Bernoulli incluye todos los tipos de energía existentes en el agua desde la bocatoma hasta el desarenador o el tanque de presión y de la cual se hará uso para determinar el diámetro de tubería necesario en la conducción:

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B + H_{rs} \quad (3.152)$$

Reduciendo la ecuación queda

$$H_{rs} = H_A - H_B = H_1 \quad (3.153)$$

Ya que la presión en los dos puntos de estudio están a la atmósfera.

Las pérdidas de energía en la tubería son iguales a la diferencia de alturas entre los dos puntos, de acuerdo al levantamiento topográfico, esta altura es  $H_1$ . De la misma manera, las pérdidas de energía se producen debido a dos factores: pérdidas por fricción del agua contra las paredes del tubo a lo largo de la longitud de la tubería, la misma que tiene una longitud de  $L_T$  [m] desde el sector de la bocatoma hasta donde finaliza la tubería, a este tipo de pérdidas se conoce como pérdidas primarias, y pérdidas por turbulencia en los accesorios o pérdidas secundarias, las cuales se toman en cuenta en la siguiente ecuación:

$$H_{rs} = \frac{16 * Q d^2}{2 * g * \pi^2 * D^4} * (\lambda_i * \frac{L_T}{D} + \sum K) \quad (3.154)$$

Remplazando, los valores existentes, claro que hay que mencionar que el valor  $\lambda$  está tomado al azar, se despeja la ecuación y se tiene:

$$f(D) = H_1 * g * \pi^2 * D^5 - 8 * Q d^2 * \sum K * D - 8 * Q d^2 * \lambda_i * L_T \quad (3.155)$$

Se calcula la primera derivada de la ecuación anterior, para realizar el método de Newton Raphson.

$$f'(D) = 5 * H_1 * g * \pi^2 * D^4 - 8 * Q d^2 * \sum K \quad (3.156)$$

Ahora se procede a realizar el método numérico anteriormente mencionado, inicializando el valor de  $D_i$  con 20 m. y se saca la nueva raíz, de la siguiente manera.

$$D = D_i - \frac{f(D)}{f'(D)} \quad (3.157)$$

El nuevo valor de  $D$  se reemplaza en  $D_i$  hasta que el valor de  $D$  sea igual a  $D_i$ .

Cálculo del área de la tubería utilizando el diámetro  $D$ .

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.158)$$

$$A = [m^2]$$

Los valores de viscosidad en función a la temperatura están en el ANEXO 3, que va de (0 - 40) °C, la misma que sirve para el cálculo del número de Reynolds.

Cálculo de la velocidad  $v$  en la tubería.

$$v = \frac{Qd}{A} \quad (3.159)$$

$$v = [m/s]$$

Cálculo del número de Reynolds.

$$Re = \frac{v * D}{\gamma} \quad (3.160)$$

$$Re = [adimensional]$$

Una vez realizado los cálculos anteriores reemplazamos en la ecuación de Colebrook-White (1939) y se iguala a cero, que es además válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero el problema radica en su complejidad y en que requiere de iteraciones:

$$f(\lambda_i) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} + 2 * \log \left[ \left( \frac{k}{3.71 * D} \right) + \left( \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda_i}} \right) \right] \quad (3.161)$$

Para aplicar el método de Newton Raphson se debe sacar la primera derivada que está dada por:

$$f'(\lambda_i) = - \frac{0.5 * \left[ \sqrt{\lambda_i} * \left( \left( \frac{k}{3.71 * D} \right) + 0.86858896 * \frac{2.51}{Re} \right) + \frac{2.51}{Re} \right]}{\lambda_i^{3/2} * \left( \sqrt{\lambda_i} * \left( \frac{k}{3.71 * D} \right) + \frac{2.51}{Re} \right)} \quad (3.162)$$

Para comenzar a iterar se tiene el valor de  $\lambda_i$  de 0.001 como se menciono anteriormente.

Y se tiene el método de la siguiente manera.

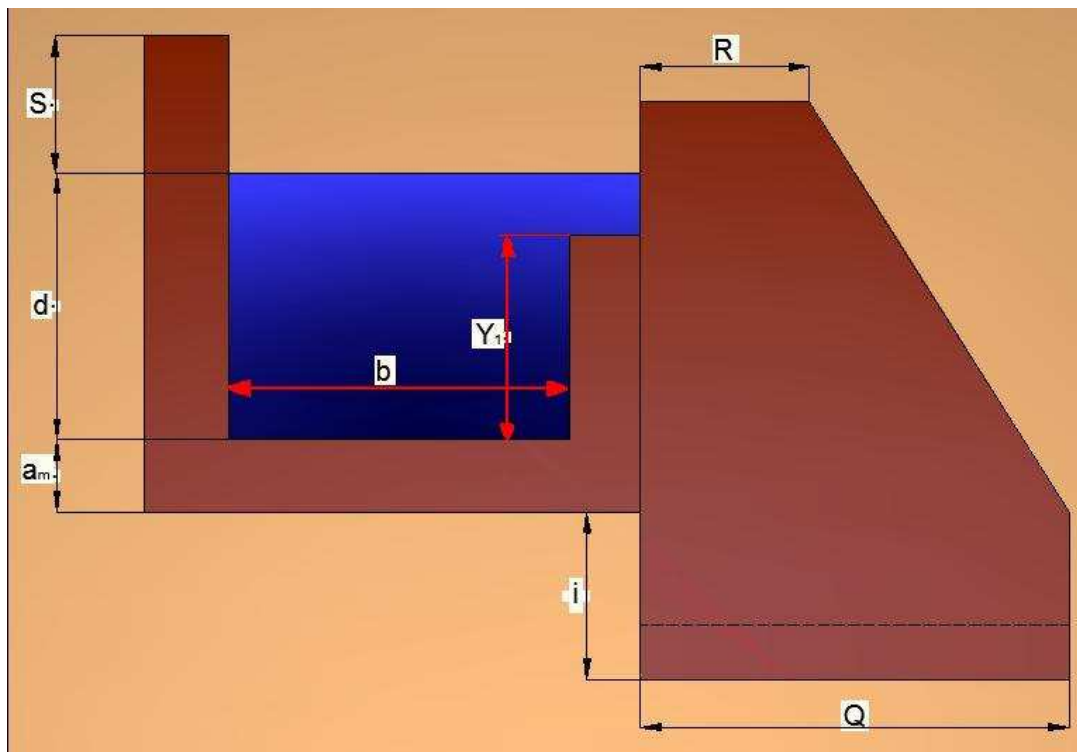
$$\lambda = \lambda_i - \frac{f(\lambda_i)}{f'(\lambda_i)} \quad (3.163)$$

A continuación se reemplaza el valor de  $\lambda$  en  $\lambda_i$  es decir que se debe re calcular el Diámetro de la tubería D, ya que depende del valor  $\lambda_i$ , y posteriormente se reemplaza en la ecuación de Colebrook-White y seguir el mismo procedimiento hasta que el valor de  $\lambda_i = \lambda$

$$\lambda_i = \lambda \quad (3.164)$$

Cuando se cumpla esta igualdad se obtiene la medida D que será la longitud del diámetro de la tubería de conducción.

## 6.6 Aliviaderos para canal rectangular.



**Figura 3. 14. Aliviaderos para canal rectangular**

### Datos a ingresar:

- b: [m] Ancho del canal.
- d: [m] Calado del canal.
- $Q_d$ : [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño.
- p: [%] Pendiente del canal.



Posteriormente se selecciona un coeficiente que servirá para cálculos posteriores que dependen del material del cauce del canal.

Mensaje del inbox —————> “ n según el material de cause ”

**Tabla 3. 12. Coeficiente n según el material de cause.**

Datos a visualizar	Datos de base n
Roca áspera	0.040
Roca igualadas las asperezas	0.033
Canales grandes en buen estado	0.0225
Canales grandes en estado regular	0.025
Canales grandes en mal estado	0.0275
Canales malos semiderrumbados	0.03
Canal irregular con vegetación	0.035
Madera cepillada	0.013
Madera sin cepillar	0.015
Hormigón sin alisado con buen encofrado	0.014
Hormigón con huellas de tablas	0.016
Hormigón alisado	0.012
Mampostería, piedra	0.0225
Gaviones	0.027
Ladrillo enlucido	0.015

### Cálculos internos.

Cálculo de la pendiente  $j'$  del canal.

$$j' = pen/100 \quad (3.165)$$

Cálculo del calado del vertedero  $K'$ .

$$K' = \frac{Qd*n}{\sqrt{jI*b^{8/3}}} \quad (3.166)$$

Calado del vertedero  $d_2$ .

$$d_2 = b * K' \quad (3.167)$$

$$d_2 = [m]$$

Cálculo del área  $A_2$  después del vertedero:

$$A_2 = d_2 * b \quad (3.168)$$

$$A_2 = [m^2]$$

En este paso se calcula el área total y el área que se da por la cota de seguridad estos resultados se obtienen para conseguir el porcentaje que mayor el caudal total el mismo que nos servirá para cálculos futuros.

$$A_T = b * d \quad (3.169)$$

$$A_T = [m^2]$$

$$A_{T1} = S * b \quad (3.170)$$

$$A_{T1} = [m^2]$$

$$P_{or} = \frac{A_{T1} * 1}{A_T} \quad (3.171)$$

$$P_{or} = [adimensional]$$

$$P'_{or} = P_{or} + 1 \quad (3.172)$$

$$P'_{or} = [adimensional]$$

$$Q_T = P'_{or} * Q_d \quad (3.173)$$

$$Q_T = \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Cálculo el caudal  $Q_v$  del vertedero.

$$Q_v = Q_T - Q_d \quad (3.174)$$

$$Q_v = \left[ \frac{m}{s^3} \right]$$

Cálculo de la velocidad  $V_v$  del caudal después del vertedero.

$$V_v = \frac{Q_v}{A_2} \quad (3.175)$$

$$V_v = [m/s]$$

Energía específica a lo largo del vertedero.

$$E = d_2 + \frac{V_v^2}{2 * g} \quad (3.176)$$

$$E = [m]$$

Cálculo de la carga  $H_2$  al final del vertedero.

$$H_2 = d_2 - Y1 \quad (3.177)$$

$$H_2 = [m]$$

Cálculo del calado del vertedero con el método de Newton Raphson inicializando  $d_{1i}$  con 20 la distancia  $d_{1i}$

$$f(d_{1i}) = 2 * g * b^2 * d_{1i}^3 - 2 * g * b^2 * E * d_{1i}^2 + Q_T^2 \quad (3.178)$$

$$f'(d_{1i}) = 6 * g * b^2 * d_{1i}^2 - 4 * d_{1i} * g * b^2 * E \quad (3.179)$$

La ecuación del método es de la siguiente manera.

$$d_1 = d_{1i} - \frac{f(d_{1i})}{f'(d_{1i})} \quad (3.180)$$

El nuevo valor de  $d_1$  será remplazado en el valor de  $d_{1i}$ , a si empieza las iteraciones hasta que el valor de  $d_1 = d_{1i}$ , entonces se cojera la distancia  $d_1$ , para los siguientes cálculos.

Cálculo la carga inicial  $H_1$  del vertedero.

$$H_1 = d_1 - Y_1 \quad (3.181)$$

$$H_1 = [m]$$

Cálculo de coeficientes K y C para determinar el ancho del vertedero.[1]

$$K = \frac{H_1}{H_2} \quad (3.182)$$

$$C = 0.4 * \frac{1-K^{5/2}}{1-K} \quad (3.183)$$

Cálculo del ancho del vertedero B en el aliviadero.

$$B = \frac{Q_V}{C * M * H_2^{3/2}} \quad (3.184)$$

$$B = [m]$$

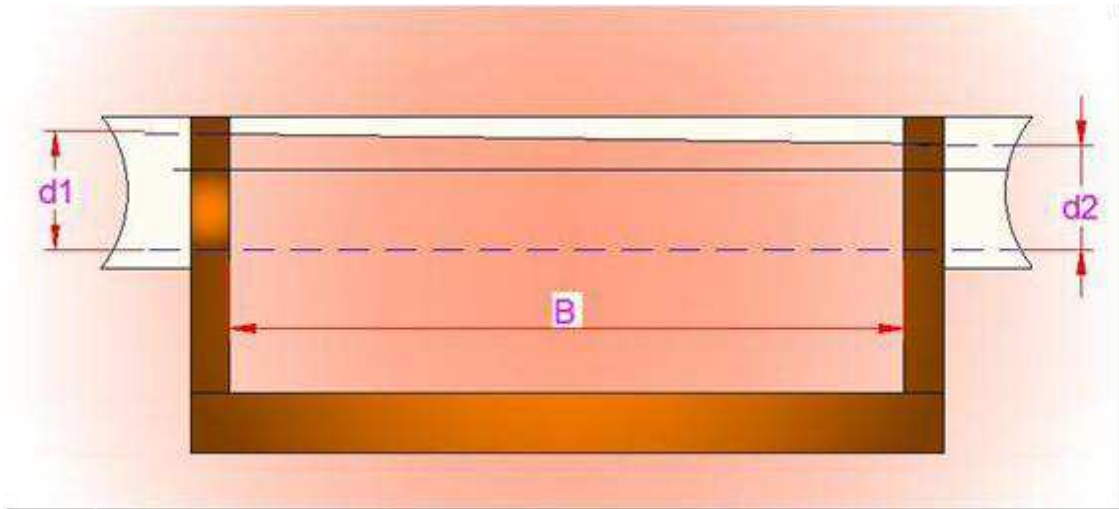


Figura 3. 15. Ancho del aliviadero

#### 6.7 Aliviaderos para canal trapezoidal.

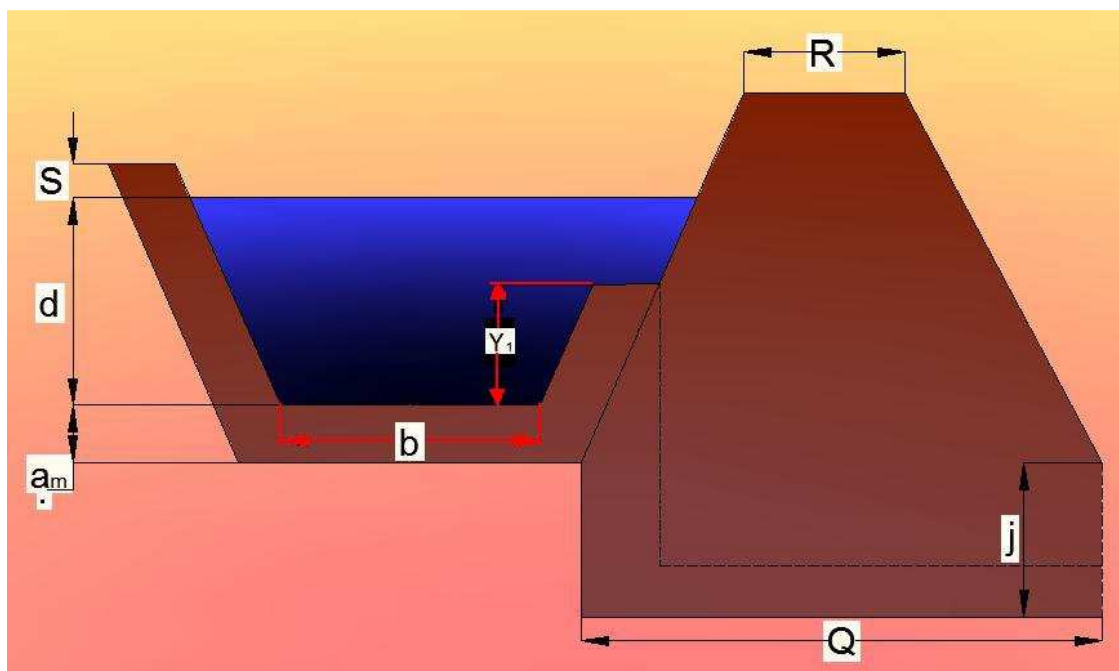


Figura 3. 16. Aliviadero para canal trapezoidal

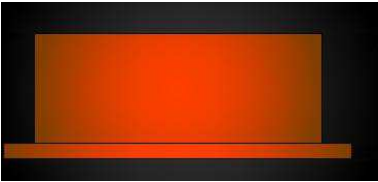

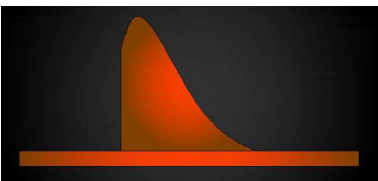
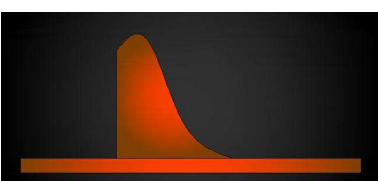

#### Datos de Ingreso:

- $b$  : [m] Ancho del canal.
- $d$  : [m] Calado del canal.



- $Q_d$  : [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño.
- $Y_1$ : [m] Altura del vertedero.
- Tipo de vertedero (imágenes de Ortiz pg. 166)

**Tabla 3. 13. Forma del vertedero y coeficiente M.**

Fig.	FORMA	M
1 	CRESTA ANCHA, ARISTAS VIVAS, HORIZONTALES	0.5
2 	CRESTA ANCHA, CON ARISTAS REDONDEADAS, HORIZONTAL	0.53
3 	CRESTA DELGADA, CON CHORRO AIREADO	0.64
4 	CRESTA REDONDEADA, CON PARÁMETRO SUPERIOR VERTICAL Y PARÁMETRO INFERIOR INCLINADO	0.75
5 	VERTEDEROS EN FORMA DE TEJADO.	0.79

**Cálculos internos:**

$$m = 0.57735$$

Cálculo del calado  $K'$  del vertedero.

$$K' = \frac{\left(\frac{d}{b} + m \left(\frac{d}{b}\right)^2\right)^{5/3}}{\left(1 + 2 \frac{d}{b} \sqrt{1 + m^2}\right)^{2/3}} \quad (3.185)$$

Distancia del calado  $d_2$  del vertedero.

$$d_2 = b * K' \quad (3.186)$$

$$d_2 = [m]$$

Cálculo del área  $A_2$  después del vertedero.

$$A_2 = d_2 * b \quad (3.187)$$

$$A_2 = [m^2]$$

En las siguientes ecuaciones se calcula el área total y el área de seguridad en el aliviadero para posteriormente determinar el porcentaje que se debe aumentar al caudal de diseño.

$$e = \tan 30^\circ * d \quad (3.188)$$

$$e = [m]$$

$$A_T = d * (e + b) \quad (3.189)$$

$$A_T = [m^2]$$

$$f = \tan 30^\circ * S \quad (3.190)$$

$$f = [m]$$

Área de seguridad.

$$A_{T1} = S * (b + 2 * e) + f * S \quad (3.191)$$

$$A_{T1} = [m^2]$$

$$P_{or} = \frac{A_{T1} * 1}{A_T} \quad (3.192)$$

$$P'_{or} = P_{or} + 1$$

Caudal total mayorado gracias al porcentaje que se saco anteriormente.

$$Q_T = P'_{or} * Q_d \quad (3.193)$$

$$Q_T = \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Cálculo del caudal del vertedero  $Q_v$  del aliviadero.

$$Q_v = Q_T - Q_d \quad (3.194)$$

$$Q_v = \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Cálculo de la velocidad  $V_v$  del caudal después del vertedero.

$$V_v = \frac{Q_v}{A_2} \quad (3.195)$$

$$V_v = [m/s]$$

Se determina la energía específica  $E$  a lo largo del vertedero.

$$E = d_2 + \frac{V_v^2}{2g} \quad (3.196)$$

$$E = [m]$$

Cálculo de la carga al final  $H_2$  del vertedero.

$$H_2 = d_2 - Y_1 \quad (3.197)$$

$$H_2 = [m]$$

En la siguiente ecuación se va a calcular el calado del vertedero con el método de Newton Raphson inicializando  $d_{1i}$  con 20

$$f(d_{1i}) = 2 * g * b^2 * d_{1i}^3 - 2 * g * b^2 * E * d_{1i}^2 + Q_T^2 \quad (3.198)$$

$$f'(d_{1i}) = 6 * g * b^2 * d_{1i}^2 - 4 * d_{1i} * g * b^2 * E \quad (3.199)$$

La ecuación del método es de la siguiente manera.

$$d_1 = d_{1i} - \frac{f(d_{1i})}{f'(d_{1i})} \quad (3.200)$$

El nuevo valor de  $d_1$  será remplazado en el valor de  $d_{1i}$ , a si empieza las iteraciones hasta que el valor de  $d_1 = d_{1i}$ , entonces se cojera la distancia  $d_1$ , para los siguientes cálculos.

En la siguiente expresión se calcula la carga inicial del vertedero.

$$H_1 = d_1 - Y_1$$

$$H_1 = [m]$$

Cálculo de coeficientes  $K$  y  $C$  para sacar el ancho del vertedero en el aliviadero.

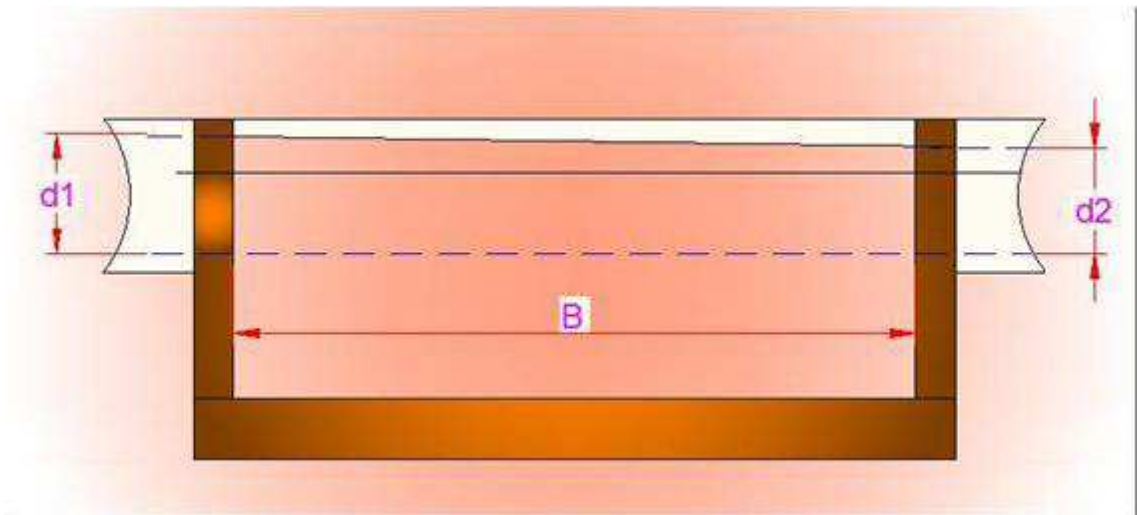
$$K = \frac{H_1}{H_2} \quad (3.201)$$

$$C = \frac{1-K^{5/2}}{1-K} \quad (3.202)$$

Cálculo del ancho del vertedero B en el aliviadero.

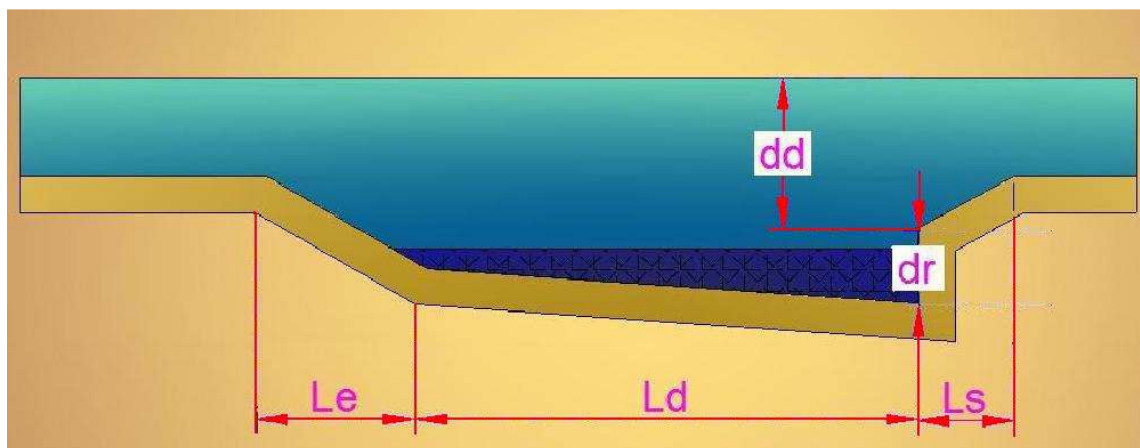
$$B = \frac{Q_V}{C * M * H_2^{3/2}} \quad (3.203)$$

$$B = [m]$$



**Figura 3. 17. Ancho del aliviadero trapecoidal.**

## 6.8 Desarenador.[4]



**Figura 3. 18. Desarenador.**

### Datos a ingresar:

- Qd: [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño.
- V<sub>H</sub>: (0.2 – 0.5) [m/s] Velocidad horizontal. }

- $d_d$ : [m] Profundidad de decantación, se recomienda esta distancia menor que 1 metro.
- $S$ : [m] Altura de seguridad.
- $d$ : [m] Altura de agua en canal.
- $U$ : [Kg /m<sup>3</sup>] Turbidez.
- $\delta_s$ : [Kg/m<sup>3</sup>] Densidad de la arena.

Mensaje del inbox



“Tamaño de partícula [mm] y velocidad de sedimento [cm/s]”

**Tabla 3. 14. Tamaño de partícula y velocidad de sedimento.**

Datos a visualizar	Datos de base Vsd
d =0.05 ; v= 0.178	0.178
d =0.1 ; v= 0.692	0.692
d =0.15 ; v= 1.560	1.560
d =0.20 ; v= 2.16	2.16
d =0.25 ; v= 2.7	2.7
d =0.30 ; v= 3.24	3.24
d =0.35 ; v= 3.78	3.78
d =0.40 ; v= 4.32	4.32
d =0.45 ; v= 4.86	4.86
d =0.50 ; v= 5.4	5.4
d =0.55 ; v= 5.94	5.94
d =0.60 ; v= 6.48	6.48
d =0.70 ; v= 7.32	7.32
d =0.80 ; v= 8.07	8.07
d =1 ; v= 9.44	9.44
d =2 ; v= 15.29	15.29
d =3 ; v= 19.25	19.25
d =5 ; v= 24.9	24.9

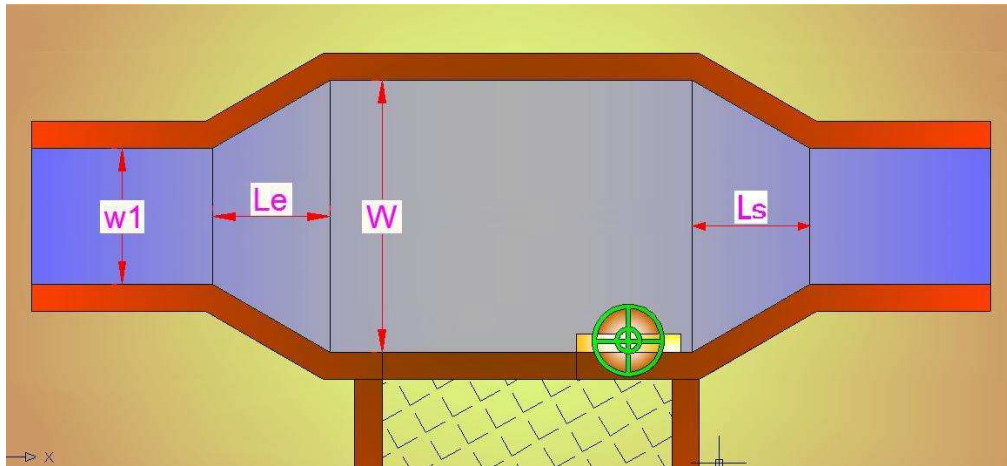
**Constante.**

**T=604800 [s]**

Periodo de tiempo de cada vaciado del tanque es decir

1 vez por cada semana.

**Cálculos internos:**



**Figura 3. 19. Vista superior del desarenador.**

Cálculo del ancho del tanque desarenador  $W$ .

$$W = \frac{Qd}{v_H * d_d} \quad (3.204)$$

$$W = [m]$$

Cálculo de la longitud de la base del tanque desarenador  $L_d$ .

$$L_d = \frac{v_H}{v_{SD}} * d_d * 150 \quad (3.205)$$

$$L_d = [m]$$

Capacidad del tanque colector  $m$ , y frecuencia de velocidad del depósito se da por la siguiente ecuación.

$$m = Qd * T * U \quad (3.206)$$

$$m = [Kg]$$

La siguiente expresión mayor la masa por seguridad en un 100%

$$m_R = 2 * m \quad (3.207)$$

Cálculo del volumen de sedimento  $V$ .

$$V = \frac{m_R}{dens\_arena} \quad (3.208)$$

$$V = [m^3]$$

A continuación se halla la profundidad del colector  $d_r$ .

$$d_r = \frac{V}{W * L_d} \quad (3.209)$$

$$d_r = [m]$$

Para determinar el ancho del colector  $W_1$  a la entrada se utiliza la siguiente expresión [2].

$$W_1 = \frac{W}{3} \quad (3.210)$$

$$W_1 = [m]$$

Cálculo de la longitud de transición  $L_s$  a la salida del desarenador.

$$L_s = \frac{W_1}{\tan(12.5^\circ)} \quad (3.211)$$

$$L_s = [m]$$

Cálculo de la longitud del desarenador  $L_e$  a la entrada.

$$L_e = 2.5 * W \quad (3.212)$$

$$L_e = [m]$$

Cálculo del encofrado del desarenador.

$$E = (d_d + d_r) * [2 * (L_e + L_d + L_s) + 2 * W] * 2 \quad (3.212a)$$

$$E = m^2$$

## 6.9 Tanque de presión. [3]

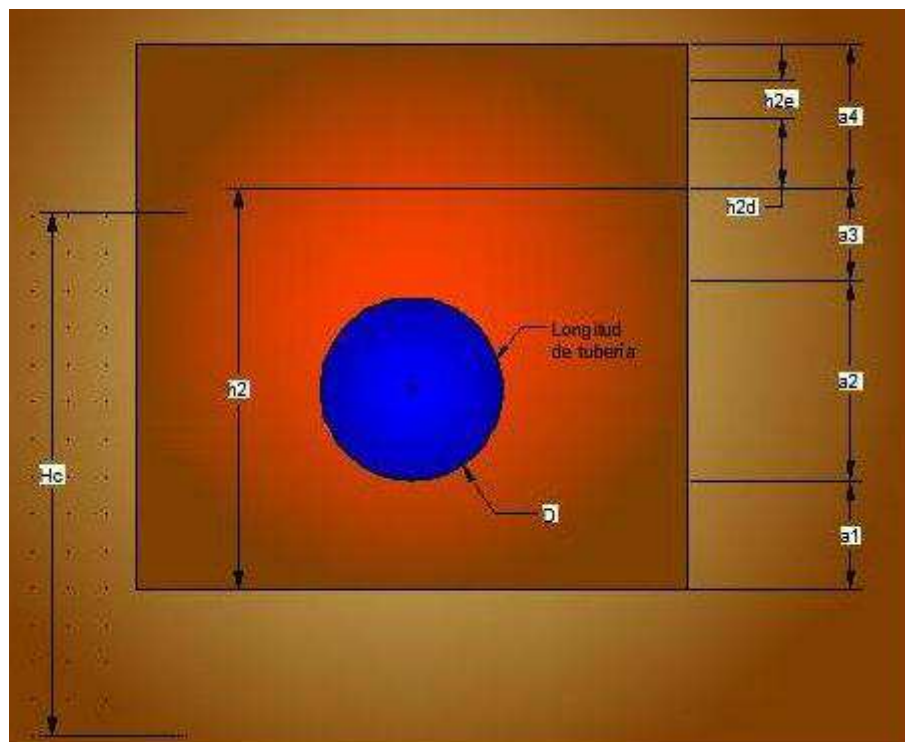


Figura 3. 20. Tanque de presión.

**Datos a ingresar:**

- $Q_d : [m^3/s]$  Caudal de diseño.
- $H_B : [m]$  Altura de caída bruta.
- $L : [m]$  Longitud de tubería.
- $a_1 : (0.3 - 0.5) [m]$  Altura para sedimentos.
- $a_4 : (0.3 - 0.5) [m]$  Altura para evitar golpe de ariete.
- $V_2 : (0.6 - 1) [m/s]$  Velocidad media en cámara.
- $h_2 : [m]$  Altura de la cámara.

**Cálculos internos:**

Cálculo del diámetro D de la tubería de presión según Bondschú.[13]

$$D = 1.27 * \frac{Q_d^{0.4268}}{1.3 * H_B^{0.1423}} \quad (3.213)$$

$$D = [m]$$

Velocidad  $V_T$  del fluido que pasa por el tanque de presión.

$$V_T = \frac{4 * Q_d}{\pi * D^2} \quad (3.214)$$

$$V_T = [m/s]$$

Se toma un valor de altura equivalente al diámetro de la tubería de presión mediante la siguiente ecuación.

$$a_2 \approx D \quad (3.215)$$

$$a_2 = [m]$$

Cálculo del ancho  $b_2$  del tanque de presión.

$$b_2 = \frac{Q}{v_2 * h_2} \quad (3.216)$$

$$b_2 = [m]$$

Cálculo de la altura  $h_{2d}$  del volumen de la cámara del tanque de presión.

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 b_2 \sqrt{h_2}} \quad (3.217)$$

$$h_{2d} = [m]$$

La distancia que se obtiene a continuación  $h'_{2e}$  servirá para comparar la condición.



$$h'_{2e} = a_1 + 2 * D + h_{2d} \quad (3.218)$$

$$h'_{2e} = [m]$$

Condición de diseño para la cámara de presión.

SI:  $h'_{2e} < h_2 \Rightarrow$  La condición está correcta.

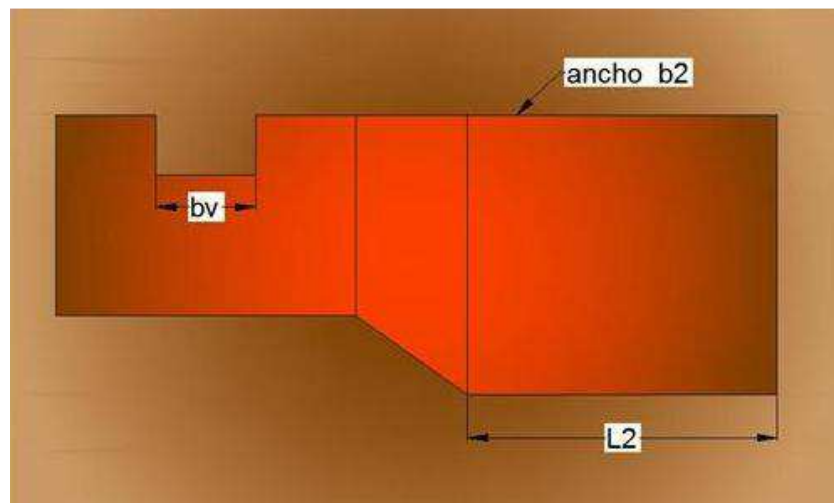
Caso contrario.

SI:  $h'_{2e} > h_2 \Rightarrow$  Se muestra el mensaje que dice aumentar la distancia  $h_2$ .

La longitud de la cámara de presión  $L_2$  se determina de la siguiente manera.

$$L_2 = \frac{0.304 * Q * L * \sqrt{h_2}}{H_B * D^2 * 1.3} \quad (3.219)$$

$$L_2 = [m]$$



**Figura 3. 21. Vista lateral del tanque de presión.**

Cálculo de la altura del nivel máximo  $h_{2e}$ .

$$h_{2e} = \frac{0.25 * Q}{b_2 * \sqrt{h_2}} \quad (3.220)$$

$$h_{2e} = [m]$$

Cálculo de la longitud del ancho del vertedero  $b_v$ .

$$b_v = \frac{5 * b_2^{3/2} * h_2^{3/4}}{\sqrt{Q}} \quad (3.221)$$

$$b_v = [m]$$

Cálculo de la altura total  $h_{2c}$  de la cámara de presión.

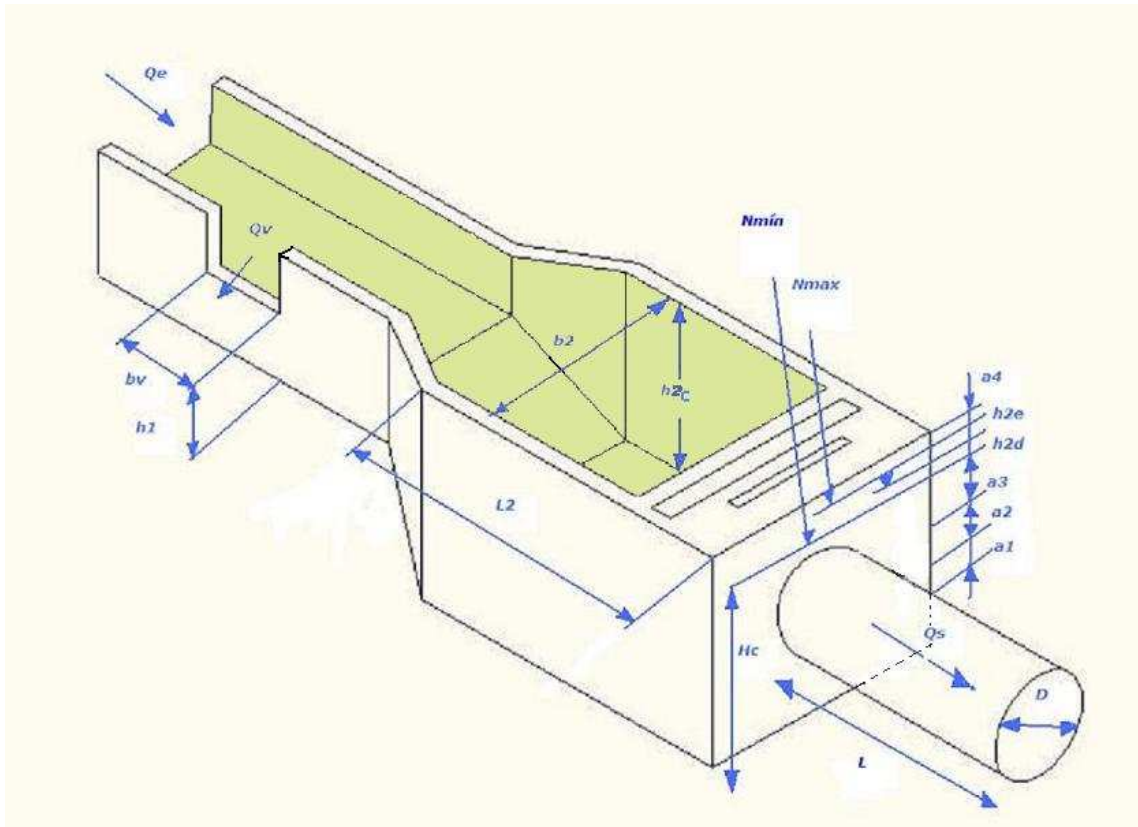
$$h_{2c} = h_2 + h_{2e} + a_4 \quad (3.222)$$

$$h_{2c} = [m]$$

Cálculo del encofrado del tanque de presión.

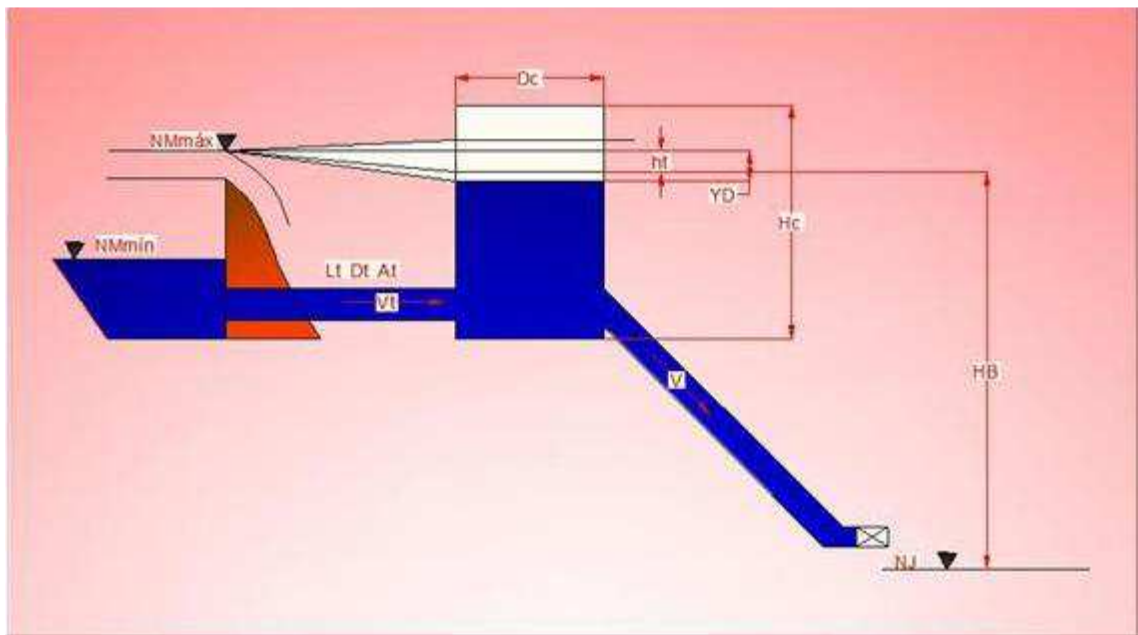
$$E = (h_{2c}) * [2 * L_2 + 2 * b_2] * 2 \quad (3.222a)$$

$$E = m^2$$



**Figura 3. 22. Dimensiones generales del tanque de presión.**

### 6.10 Chimenea de equilibrio o almenara. [3]



**Figura 3. 23. Chimenea de equilibrio o almenara.**

#### Datos a ingresar:

- $L$  : [m] Longitud total de la tubería.
- $Q_d$  : [m<sup>3</sup>/s] Caudal de diseño.
- $D_g$  : [m] Diámetro a la salida del tanque de presión.
- $L_g$  : [m] Longitud de galería de conducción.
- $HB$ : Altura bruta.

La primera condición para determinar si el sistema necesita una chimenea de equilibrio o almenara es la siguiente:

$$L/HB \leq 5 \quad (3.223)$$

Caso contrario el sistema se diseñara sin almenara.

El área de la tubería  $A_t$  se calcula de la siguiente manera.

$$A_t = \pi * \frac{D_g^2}{4} \quad (3.224)$$

$$A_t = [m^2]$$

La velocidad  $Vg$  en la conducción desde el tanque de presión hasta la almenara se halla de la siguiente forma.

$$Vg = \frac{Qd}{A_t} \quad (3.225)$$

$$Vg = [m/s]$$

Pérdidas  $h_a$  de la tubería según Scobey.

$$h_a = 0.00131136 * \frac{Q_d^{1.9}}{D_g^{1.1}} * Lg \quad (3.226)$$

$$h_a = [m]$$

Cálculo de las pérdidas totales de presión  $h_t$ .

$$h_t = 1.04 * h_a \quad (3.227)$$

$$h_t = [m]$$

Cálculo de la sección transversal  $A_c$  de la almenara.

$$A_c = \frac{V_g^2 * Lg * A_t}{2g * (H_B - h_t) h_t} \quad (3.228)$$

$$A_c = [m^2]$$

Cálculo de la sobrepresión teórica del golpe de ariete  $y_e$ .

$$y_e = y_d = Vg * \sqrt{\frac{A_t * Lg}{g * A_c}} \quad (3.229)$$

$$y_e = [m]$$

$$y_d = [m]$$

Cálculo de la altura  $H_c$  de la almenara.

$$H_c = 2 * (y_e + 1) + D_g \quad (3.230)$$

$$H_c = [m]$$

Cálculo del diámetro  $D_c$  de la almenara.

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} \quad (3.231)$$

$$D_c = [m]$$

Determinación de la constante  $K$  para el factor de pérdida de presión.

$$K = \frac{h_t}{y_e} \quad (3.232)$$

$$K = [m]$$

El factor de pérdida de presión  $Z_e$  por efecto del golpe de ariete es:

$$Z_e = 1 - \left(\frac{2}{3}\right) K + \left(\frac{1}{9}\right) K^2 \quad (3.233)$$

Para la sobrepresión real del golpe de ariete  $Y_E$  se calcula de la siguiente manera.

$$Y_E = y_e * Z_e \quad (3.234)$$

$$Y_E = [m]$$

A continuación se calcula las pérdidas por fricción  $h'_a$ .

$$h'_a = 0.00172116 * \frac{Q_d^{1.9}}{D^{1.1}} * Lg \quad (3.235)$$

$$h'_a = [m]$$

Las pérdidas de presión total en el sistema de conducción  $h'_t$ , debido a las pérdidas por fricción son:

$$h'_t = 1.04 * h'_a \quad (3.236)$$

$$h'_t = [m]$$

Determinación de una constante  $K'$  para el cálculo del factor de pérdida.

$$K' = \frac{h'_t}{y_d} \quad (3.237)$$

$$K' = [m]$$

El factor de pérdida de presión por efecto  $Z_d$  del golpe de ariete es:

$$Z_d = 1 - 0.593 * (K')^3 + 1.556 * (K')^2 - 1.683 * K' \quad (3.238)$$

$$Z'_d = 0.131 * (K')^2 - 0.353 * K' + 0.5 \quad (3.239)$$

$$Z'_d = [m]$$

Aquí se formula la siguiente condición para el cálculo de  $y_d$ , escogiendo cual de las pérdidas de presión es mayor, es decir:

$$\text{Si } Z_d > Z'_d \quad \text{entonces la ecuación es:} \quad (3.240)$$

$$Y_D = y_d * Z_d \quad (3.241)$$

$$Y_D = [m]$$

Caso contrario

$$\text{Si } Z_d < Z'_d \quad \text{se escoge la siguiente ecuación.} \quad (3.242)$$

$$Y_D = y_d * Z_d' \quad (3.243)$$

$$Y_D = [m]$$

Cálculo de la altura mínima  $H_{cmin}$  que debe tener la almenara.

$$H_{cmin} = Y_E + Y_D + 2 + D_g \quad (3.244)$$



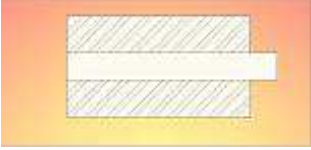
$$H_{cmin} = [m]$$



### 6.11 Tubería de presión. [3], [4]

#### Datos a ingresar:

- $D : [m]$                                       Diámetro de la tubería.
- $H_B : [m]$                                       Altura de caída bruta.
- $E_E =$  coeficiente entrada de la tubería:

**Tabla 3. 15. Figuras para los coeficientes de entrada en la tubería.**

$E_E$	TIPO DE ENTRADA
1.0	
0.8	
0.5	

0.2	
0.04	

- $E_K$  = coeficiente para codos circulares.

**Tabla 3. 16. Coeficiente para codos circulares.**

$\alpha$ (grados)	10	15	22.5	30	45	60	90
$E_K$	0.044	0.062	0.154	0.165	0.320	0.684	1.265

- $L_T$  : [m] Longitud de la tubería.
- No = números de tramos de tuberías
- $\theta$  : [ $^0$  grados sexagesimales] Inclinación de la tubería.

**Tabla 3. 17. Ilustración para ingreso de datos.**

No de tramos	$\theta$	$L_t$
1		
2		
3		
n		

- Material de la tubería: Está dado en el ANEXO 4.
- $E_v$  = tipos de válvula.

**Tabla 3. 18. Coeficientes según el tipo de válvula.**

TIPOS DE VÁLVULA	$E_v$
Válvula mariposa	0.2 - 0.4
Válvula esférica	0.1

Válvula anular	1.2 - 2.5
----------------	-----------

- $T_{\min} : [^{\circ}\text{C}]$  Temperatura mínima de la zona.
- $T_{\max} : [^{\circ}\text{C}]$  Temperatura máxima de la zona.
- $L_s : (<8\text{m}) [\text{m}]$  Longitud entre apoyos.

#### Constantes.

- $K_f = 0.9$  [adimensional] Pérdidas por entrada y salida.
- $g = 9.8$  [ $\text{m/s}_2$ ] Aceleración de la gravedad.

#### Cálculos internos.

Previo a determinar las pérdidas en la tubería debe conocerse la velocidad del caudal que fluye en ella, la cual es igual a:

$$V_T = \frac{4 * Q_d}{\pi * D^2}$$

El cálculo de la pérdida en la rejilla  $h_r$  se da de la siguiente manera.

$$h_r = 0.0918367 * V_T^2 \quad (3.245)$$

Escogida la rejilla  $h_r$  redonda resulta el coeficiente anterior.

$$h_r = [\text{m}]$$

Pérdidas de entrada  $h_E$ , se calcula de la siguiente manera.

$$h_E = E_E * \frac{V_T^2}{2g} \quad (3.246)$$

$$h_E = [\text{m}]$$

Cálculo de la pérdida de los codos  $\Sigma h_K$ .

$$\Sigma h_K = E_K * \frac{V_T^2}{2g} \quad (3.247)$$

$$\Sigma h_K = [\text{m}]$$

Cálculo de las pérdidas de fricción por el tubo.

En primer lugar se obtiene el número de Reynolds.



$$Re = \frac{V_T * D}{\nu} \quad (3.248)$$

A continuación se utiliza la ecuación de Colebrook-White se reemplaza los valores anteriores y la ecuación se la deja en función del coeficiente de rugosidad, y posteriormente se aplica el método de Newton Raphson, para sacar el coeficiente mencionado.

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 * \log_{10} \left( \frac{K}{3.71 * D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{\lambda}} \right) \quad (3.249)$$

$$f'(\lambda) = -4.04419364493 * \frac{(\sqrt{\lambda} * (D + 0.123634040281 * K * Re) + 1.1512925465 * D)}{f^{3/2} * (\sqrt{\lambda} * K * Re + 9.3121 * D)} \quad (3.250)$$

Inicializando  $\lambda_i$  con 0.001

$$\lambda = \lambda_i - \frac{f(\lambda)}{f'(\lambda)} \quad (3.251)$$

Este nuevo valor del coeficiente de rugosidad  $\lambda$  será reemplazado en  $\lambda_i$  de esta manera comienza las iteraciones, las mismas que pararan cuando el valor  $\lambda$  y  $\lambda_i$  sean aproximadamente iguales.

Las pérdidas de fricción  $h_{fricc}$  en el tubo se calculan de la siguiente manera.

$$h_{fricc} = \frac{\lambda * L_T * V_T^2}{2 * g * D} \quad (3.252)$$

$$h_{fricc} = [m]$$

Las pérdidas en válvulas  $h_V$  se sacan de la siguiente forma.

$$h_V = E_V * \frac{V_T^2}{2g} \quad (3.253)$$

$$h_V = [m]$$

El cálculo del espesor  $e'$  de la tubería de presión esta dado por la siguiente ecuación.

$$e' = \frac{5 * fs * (1.3 * H_B) * 10^6 * D * K_f}{\delta t} + 2 \quad [mm] \quad (3.254)$$

Pero se debe añadir los siguientes factores.

$K_f = 1.2$  Por factor de junta.

$fs =$  Factor de seguridad de 3

Reducida la ecuación queda de la siguiente manera.

$$e' = \frac{23.4 * H_B * 10^6 * D}{\delta t} + 2 [mm] \quad (3.255)$$

$$e' = [mm]$$

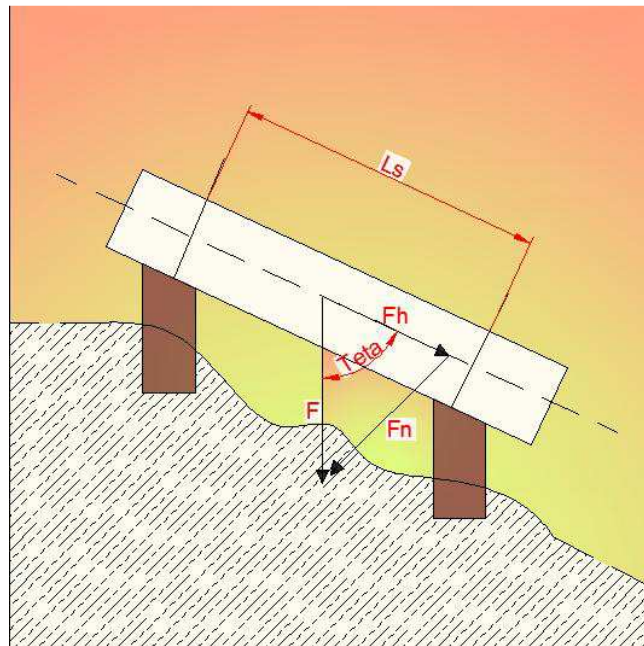
Transformando las unidades en metros se tiene.

$$e = e'/1000 \quad (3.256)$$

$$e = [m]$$

### 6.11.1 Tensiones.

En la tubería de presión apoyada sobre estructuras de concreto tiene gran importancia en relación entre el espesor de la tubería y la distancia entre bloques  $L_s$ , decisión que se toma con base de criterios técnico-económicos como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3. 24. Tubería de presión y apoyos.**

Las principales tensiones que debe soportar el espesor de la tubería son:

#### 6.11.1.1 Tensión tangencial.

Es la tensión ejercida por el golpe de ariete para esto se necesita de dos valores que vienen de ecuaciones generales, que son:

$$\delta_{agua} = \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \quad \text{Densidad del agua.}$$

$$Pa = [Pascales] \quad \text{Presión atmosférica a determinada altura.}$$

$$H_B = [m] \quad \text{Altura bruta.}$$

Cálculo de la presión actuante  $P_s$  por el golpe de ariete.

$$P_1 = 1.3 * \delta_{agua} * g * H_B + Pa \quad (3.257)$$



El momento de resistencia W es igual a:

$$W = 0.785398 * \frac{(D+e)*(e)*(1D^2+2*D*e+2*e^2)}{D+2e} * 100^3 \quad (3.263)$$

$$W = [cm^3]$$

Para determinar la tensión a flexión se debe calcular el ángulo complementario al ángulo de la pendiente que está en el campo.

$$\theta = 90 - \theta_1 \quad (3.264)$$

$$\theta = [^\circ]$$

Aquí se muestra la ecuación final para el cálculo de este esfuerzo.

$$\sum \delta_f = \frac{F*(L_s*100)^2*Sen\theta}{8*W} \quad (3.265)$$

$$\delta_f = \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

#### 6.11.1.5 Tensión longitudinal por variación de pendiente.

Esta tensión se debe por la inclinación por variación de la pendiente del terreno.

$$\sum \delta_j = \frac{F*L_s*Cos\theta}{\pi*e*(D+e)*100} \quad (3.266)$$

$$\delta_j = \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

El criterio que se muestra a continuación nos sirve para determinar si el diseño en la tubería está bien escogido.

$$\delta_{ad} > \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \Rightarrow \text{La condición está bien.} \quad (3.267)$$

Caso contrario se debería reducir  $L_s$  pero también hay que tomar en cuenta el factor económico.

$$\delta_{ad} < \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad (3.268)$$

n= número de tramos de la tubería de presión.

La selección de un espesor mayor e, permite aumentar la longitud de la tubería entre bloques  $L_s$ ; lo cual admite reducir el costo y el número de anclajes, siendo al final la selección del espesor una variable técnico-económica entre el costo de la tubería y el número de anclajes, ajustados a las

condiciones constructivas y propias del lugar, y con estas condiciones, por último se obtiene el coeficiente de seguridad para la tubería de presión.

$$\eta_{LS} = \frac{\delta_{ad}}{\sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2}} \quad (3.269)$$

### 6.11.2 Apoyos.

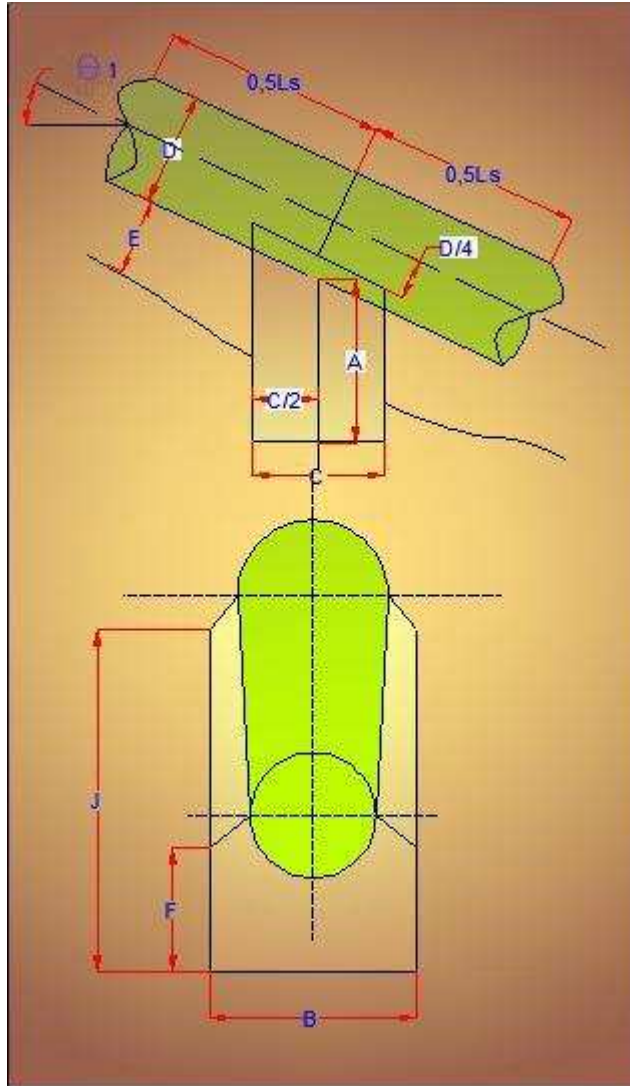
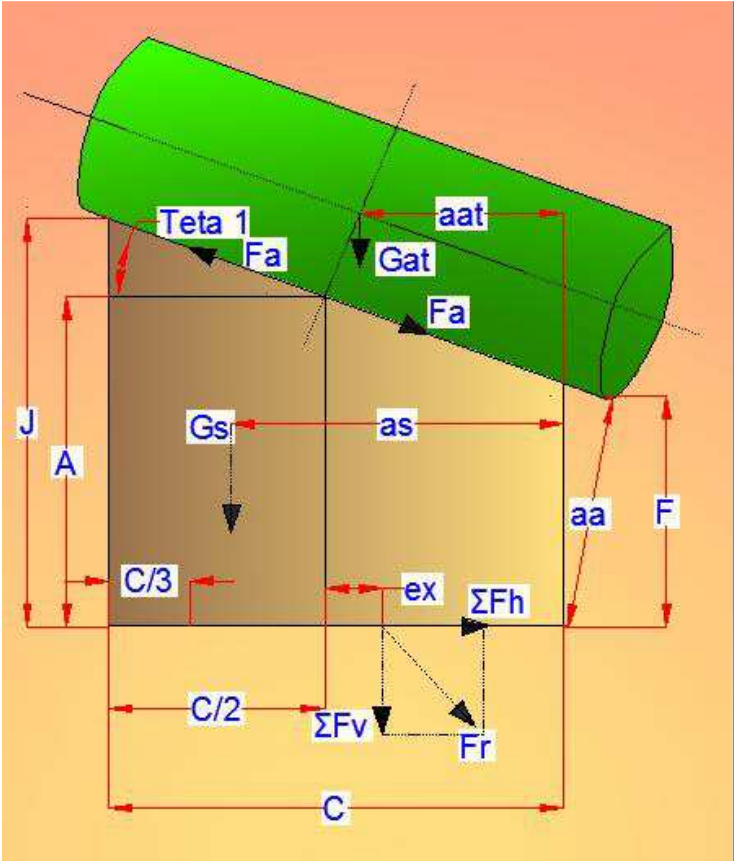


Figura 3. 25. Vistas del apoyo



**Figura 3. 26. Dimensiones generales en el apoyo.**

**Datos a ingresar:**

$C : [m] \sim (1,5D)$	Ancho del bloque.
$B : [m] \sim (1,5D)$	Largo del bloque.
$\Psi_{ad} : [Kgf/cm^2]$	Tensiones según el suelo de apoyo.

**Tabla 3. 19. Tensiones producidas según el suelo de apoyo.**

Suelo de Apoyo	$\Psi_{ad} : [Kgf/m^2]$
Roca granítica.	$4.2 \cdot 10^3$
Roca calcárea o arenítica.	$2.8 \cdot 10^5$
Pedregal.	$2.8 \cdot 10^4$
Arcilla dura.	$1.5 \cdot 10^4$

$\Psi_{ad} : [Kgf/cm^2]$  Tensiones de apoyo según el suelo de apoyo.

$\mu_K : [Adimensional]$  Coeficiente de rozamiento.

Cálculos internos.

Cálculo de la altura mínima  $E_{min}$  para facilitar el escurrimiento de aguas lluvias.

$$E_{min} = 0.25 * D \quad (3.270)$$

$$E_{min} = [m]$$

La distancia de la altura a la mitad del apoyo es la siguiente.

$$A = 1.2 * D \quad (3.271)$$

$$A = [m]$$

Distancia de la parte inferior de la tubería hasta el apoyo F.

$$F = A - 0.5 * C * tg\theta_1 \quad (3.272)$$

$$F = [m]$$

Distancia de la parte superior de la tubería hasta el apoyo J.

$$J = A + 0.5 * C * tg\theta_1 \quad (3.273)$$

$$J = [m]$$

#### 6.11.2.1 Esfuerzos sobre apoyos.

Los esfuerzos que actúan sobre el apoyo son los siguientes.

- **Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua.**

Peso del agua  $G_a$ .

$$G_a = \frac{\gamma_w * \pi * D^2}{4} * L_s \quad (3.274)$$

$$G_a = [Kgf]$$

Peso de la tubería  $G_t$ .

$$G_t = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * L_s \quad (3.275)$$

$$G_t = [Kgf]$$

- **Fuerza por el peso del agua y del apoyo y de la tubería  $G_{at}$ .**

$$G_{at} = G_a + G_t \quad (3.276)$$

$$G_{at} = [Kgf]$$

- **Fuerza por el peso de apoyo  $G_s$ .**

Para este cálculo se necesita el volumen del apoyo  $V_s$ .

$$V_s = F * B * C + \frac{1-0.5*C*tg\theta}{2} * B * C + \frac{C*(D+2e)}{4*Cos\theta} \left( B - (D + 2 * e) * arctg\left(\frac{B}{D}\right) \right) \quad (3.277)$$

$$V_s = [m^3]$$

$$G_s = 2400 * V_s \quad (3.278)$$

El valor de 2400 es el peso específico del hormigón en [Kgf/m<sup>3</sup>]

$$G_s = [Kgf].$$

- **Fuerza de fricción entre tuberías y apoyos F'a.**

$$F'_a = \mu_K * (G_a + G_t) * Cos\theta_1 \quad (3.279)$$

$$F'_a = [Kgf]$$

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción, la cual se toma igual a:

$$F_a = 1.1 * F'_a \quad (3.280)$$

$$F_a = [Kgf]$$

Cálculo del empuje horizontal  $\Sigma F_H$ .

$$\Sigma F_H = F_a * Cos\theta_1 \quad (3.281)$$

$$\Sigma F_H = [Kgf]$$

La sumatoria de esfuerzos verticales es  $\Sigma F_V$ :

$$\Sigma F_V = G_s + G_{at} + F_a * Sen\theta_1 \quad (3.282)$$

$$\Sigma F_V = [Kgf] \quad (3.283)$$

- **Fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo F<sub>ab</sub>.**

$$F_{ab} = 0.3 * (G_s + G_{at} + F_a * Sen\theta_1) \quad (3.284)$$

El coeficiente 0.3 es por la fricción entre el apoyo y el terreno.

$$F_{ab} = [Kgf]$$

### 6.11.2.2 Estabilidad para el apoyo.

Condición para que el apoyo este bien diseñado.

$$\frac{F_{ab}}{\Sigma F_H} \geq 1.5 \Rightarrow \text{La condición es perfecta.} \quad (3.285)$$

Caso contrario como se muestra a continuación se presenta el siguiente mensaje.



$$\frac{F_{ab}}{\Sigma F_H} < 1.5 \Rightarrow \text{mensaje variar datos de las distancias de C y B.} \quad (3.286)$$

Cálculo de la distancia al centro de gravedad del apoyo  $a_s$ .

$$a_s = \frac{C}{14.4 * D} (7.2 * D + C * \tan \theta_1) \quad (3.287)$$

$$a_s = [m]$$

Distancia  $a_a$  desde la parte derecha en el gráfico del apoyo y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y el apoyo.

$$a_a = (A - 0.5 * C * \tan \theta_1) * \cos \theta_1 \quad (3.288)$$

$$a_a = [m]$$

Distancia  $a_{at}$  desde la parte derecha en el gráfico del apoyo y la fuerza ejercida por el peso de la tubería y el agua.

$$a_{at} = 0.5 * (C - D * \sin \theta_1) \quad (3.289)$$

$$a_{at} = [m]$$

Distancia  $e_x$  a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee.

$$e_x = \frac{\Sigma F_v * 0.5 * C - G_s * a_s - G_{at} * a_{at} + F_a * a_a}{\Sigma F_v} \quad (3.290)$$

$$e_x = [m]$$

Una vez hallado  $e_x$ ;

Si  $(e_x) \leq C/6 \Rightarrow$  La condición es perfecta se puede continuar con el dimensionamiento.

Si  $(e_x) > C/6 \Rightarrow$  caso contrario saldrá un mensaje: “Variar datos de las distancias de C y B.”

Cálculo de tensiones.

#### ➤ **Tensión a compresión $\Psi_c$**

Es la tensión transmitida por el apoyo equivale a:

$$\Psi_c = \frac{\Sigma F_v}{B * C} * \left(1 + \frac{6 * |e_x|}{C}\right) \quad (3.291)$$

$$\Psi_c = [Kgf/m^2]$$

Se observa que la capacidad portante del terreno sea superior a la presión transmitida por el apoyo, lo cual se garantiza si:

$$\Psi_c \leq \Psi_{ad} \Rightarrow \text{Condición perfecta.} \quad (3.292)$$

Caso contrario debe aumentarse el valor de C siempre y cuando C sea mayor que B.

$$\Psi_c \geq \Psi_{ad} \quad (3.293)$$

### ➤ **Tensión a tracción $\Psi_t$**

Un terreno adecuado para asentar el anclaje debe ser de roca o un terreno firme formado por arena gruesa o arcilla compacta; algunos de los valores de la capacidad portante del terreno  $\Psi_{ad}$  se indican en la tabla 3.19.

$$\Psi_t = \frac{\Sigma F_v}{B \cdot C} \left( 1 - \frac{6 \cdot |e_x|}{C} \right) \quad (3.294)$$

$$\Psi_t = [Kgf/m^2]$$

También es condición que la tensión a la tracción sea mayor a cero.

$$\Psi_t > 0 \Rightarrow OK \quad (3.295)$$

Cuando la condición no se cumple.

$$\Psi_t < 0 \quad (3.296)$$

Se cambia los valores de C y B es decir el ancho y el largo del apoyo.

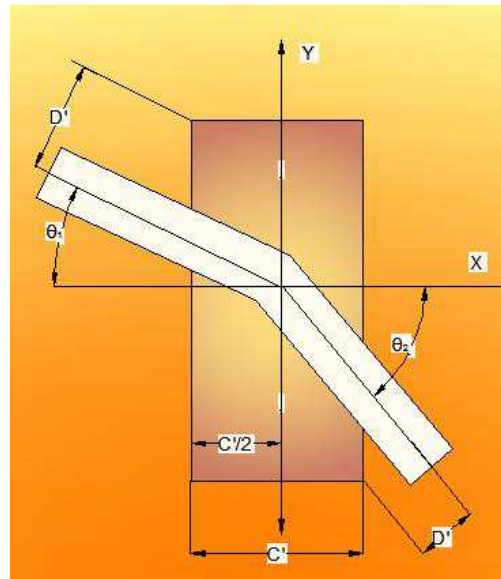
### **6.11.3 Anclajes.**

Los anclajes ajustan la tubería al perfil topográfico del terreno y permiten variar la pendiente horizontal y/o vertical.

Datos a ingresar.

- $L_1$  : [m] Longitud tramo aguas arriba.
- $L_2$  : [m] Longitud tramo aguas abajo.
- $L_{s1}$  : [m] Longitud entre apoyo y anclaje aguas arriba.
- $L_{s2}$  : [m] Longitud entre apoyo y anclaje aguas abajo.
- $\theta_1$  : [ $^\circ$ ] Ángulo aguas arriba.

- $\theta_2 : [^\circ]$  Ángulo aguas abajo.



**Figura 3. 27. Dimensiones del anclaje.**

- $\theta_3 : [^\circ]$  Ángulo aguas arriba pendiente horizontal.
- $\theta_4 : [^\circ]$  Ángulo aguas abajo pendiente horizontal.
- $Q_d : [m^3/s]$  Caudal de diseño.
- $D' : [m]$  Distancia al extremo de la tubería en anclaje.

Cálculos internos.

### 6.11.3.1 Esfuerzos.

Para establecer las dimensiones de un bloque de anclaje es decir las figuras 3.27 y 3.28 debe calcularse primero todas las fuerzas que le son transmitidas por la tubería.

Cálculo del peso del agua aguas arriba  $G_{a1}$ .

$$G_{a1} = \gamma_w * \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{L_{s1}}{2} * \cos \theta_1 \quad (3.297)$$

$$G_{a1} = ? \text{ [Kgf]}$$

Cálculo del peso del agua aguas abajo  $G_{a2}$ .

$$G_{a2} = \gamma_w * \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{L_{s2}}{2} * \cos \theta_2 \quad (3.298)$$

$$G_{a2} = ? \text{ [Kgf]}$$

Cálculo del peso de la tubería aguas arriba  $G_{t1}$ .

$$G_{t1} = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * \frac{L_{s1}}{2} * \cos\theta_1 \quad (3.299)$$

$$G_{t1} = ? \text{ [Kgf]}$$

Cálculo del peso de la tubería aguas abajo  $G_{t2}$ .

$$G_{t2} = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * \frac{L_{s2}}{2} * \cos\theta_2 \quad (3.300)$$

$$G_{t2} = ? \text{ [Kgf]}$$

- **Fuerza del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella:**

$$F_1 = (G_{a1} + G_{t1}) \quad \text{aguas arriba} \quad (3.301)$$

$$F_1 = \text{[Kgf]}$$

$$F_2 = (G_{a2} + G_{t2}) \quad \text{aguas abajo} \quad (3.302)$$

$$F_2 = \text{[Kgf]}$$

- **Fuerza de fricción entre las tuberías y apoyos.**

Peso del fluido aguas arriba.

$$G_{af1} = \gamma_w * \frac{\pi * D^2}{4} * (L_1 - L_{s1}) * \cos\theta_1 \quad (3.303)$$

Con respecto a la tubería aguas arriba.

$$G_{tf1} = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * (L_1 - L_{s1}) * \cos\theta_1 \quad (3.304)$$

$$F_3 = \mu_K * (G_{af1} + G_{tf1}) \quad (3.305)$$

$$F_3 = \text{[Kgf]}$$

Peso del fluido aguas abajo.

$$G_{af2} = \gamma_w * \frac{\pi * D^2}{4} * (L_2 - L_{s2}) * \cos\theta_2 \quad (3.306)$$

Con respecto a la tubería aguas abajo.

$$G_{tf2} = \gamma_t * \pi * e * (D + e) * (L_2 - L_{s2}) * \cos\theta_2 \quad (3.307)$$

$$F_4 = \mu_K * (G_{af2} + G_{tf2}) \quad (3.308)$$

$$F_4 = \text{[Kgf]}$$

- **Fuerza en cambio de dirección a la presión hidrostática  $F_5$ .**

Para el siguiente cálculo se necesita saber la altura  $H_1$  que es la distancia desde el anclaje en estudio hasta el nivel de agua del tanque de presión y se obtiene de la siguiente manera.

$$H_1 = h_{2c} - a_1 + \text{Sen}\theta_1 * L_1 \quad (3.309)$$

$$F_5 = 1,6 * 10^3 * 1,3 * H_1 * D^2 * \text{sen}\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right) \quad (3.310)$$

$$F_5 = [Kgf]$$

Hay que tomar en cuenta que si la fuerza es negativa tiene la dirección hacia abajo caso contrario esta hacia arriba.

- **Fuerza del peso de la tubería paralela a ella.**

El tramo de la tubería aguas arriba del anclaje tratará de empujar a éste mientras que el tramo aguas abajo del anclaje tratará de jalarlo en la dirección de la pendiente.

$$F_6 = G_{t1} * L_1 * \frac{\tan\theta_1}{L_{s1}} \quad (3.311)$$

$$F_6 = [Kgf]$$

$$F_7 = G_{t2} * L_2 * \frac{\tan\theta_2}{L_{s2}} \quad (3.312)$$

$$F_7 = [Kgf]$$

- **Fuerzas por variación de temperaturas en las paredes del tubo F<sub>8</sub>.**

$$F_8 = \alpha * E * \pi * e * (e + D) * (t_{\max} - t_{\min}) * 10000 \quad (3.313)$$

$$F_8 = [Kgf]$$

- **Fuerza de fricción en la junta de dilatación F<sub>9</sub>.**

$$F_9 = 10000 * D \quad (3.314)$$

$$F_9 = [Kgf]$$

- **Fuerza debido a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión F<sub>10</sub>.**

$$F_{10} = 3.1 * 1.3 * H_1 * D * e * 1000 \quad (3.315)$$

$$F_{10} = [Kgf]$$

- **Fuerza de presión hidrostática F<sub>12</sub>.**

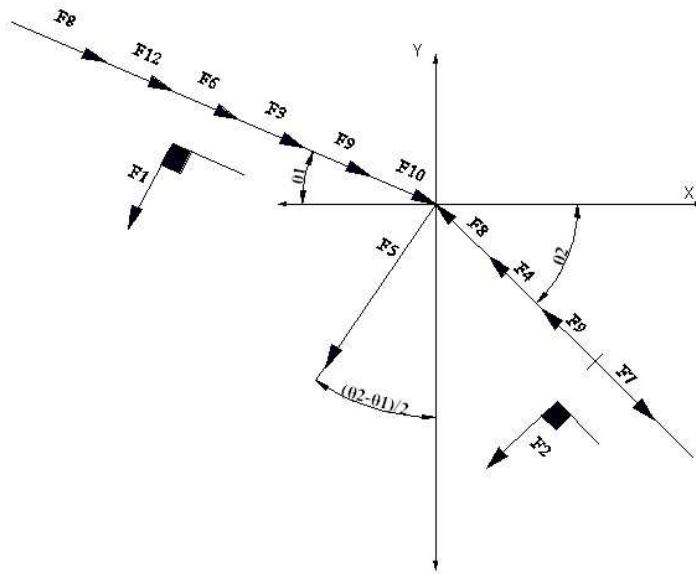
Esta fuerza es debido a la presión hidrostática que trata de separar en dos la junta de dilatación.

$$F_{12} = \gamma_w * 1.3 * H_1 * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.316)$$

$$F_{12} = [Kgf]$$

### 6.11.3.2 Fuerzas resultantes.

El siguiente gráfico muestra el análisis de las fuerzas y el estudio matemático aplicado en el anclaje.



**Figura 3. 28. Fuerzas que intervienen en el anclaje.**

Sumatoria de las fuerzas aguas arriba.

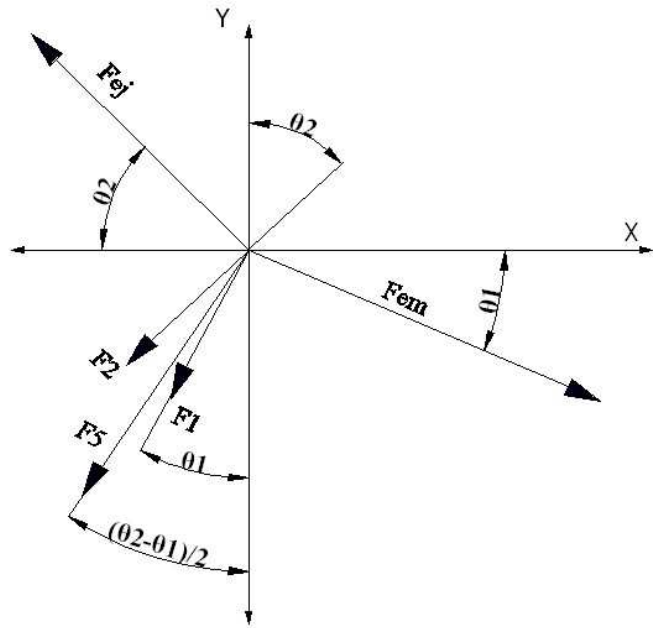
$$F_{em} = F_{10} + F_9 + F_3 + F_6 + F_{12} + F_8 \quad (3.317)$$

$$F_{em} = [Kgf]$$

Sumatoria de las fuerzas aguas abajo.

$$F_{ej} = F_8 - F_7 + F_4 + F_9 \quad (3.318)$$

$$F_{ej} = [Kgf]$$



**Figura 3. 29. Fuerzas trasladadas al centro del anclaje.**

La siguiente ecuación implanta el resultado de la fuerza en el eje de las abscisas.

$$F_{XV} = F_{em} * \cos\theta_1 - F_{ej} * \cos\theta_2 - F_2 * \sin\theta_2 - F_1 * \sin\theta_1 \pm F_5 * \sin\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right) \quad (3.319)$$

Si  $F_{XV}$  es positiva entonces esta hacia la derecha.

Si  $F_{XV}$  es negativa entonces esta hacia la izquierda.

$$F_{XV} = [Kgf]$$

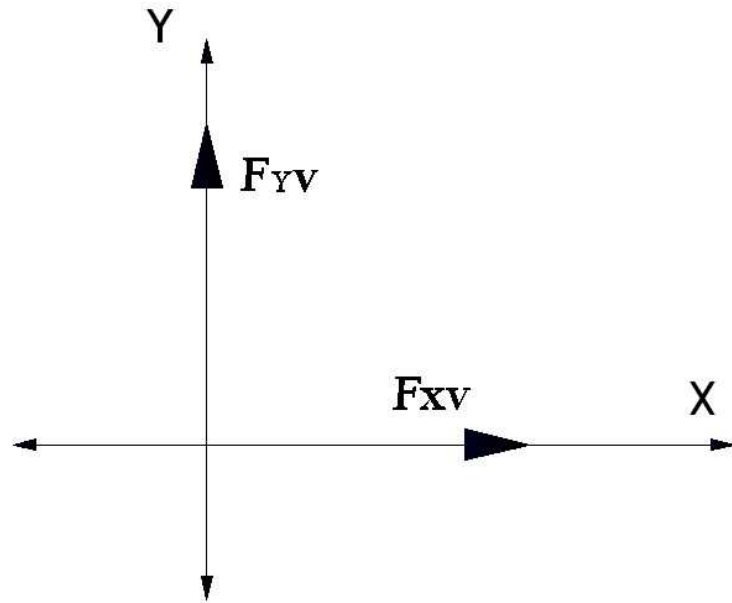
Ecuación que representa el resultado de la fuerza en el eje de las ordenadas.

$$F_{YV} = F_{em} * \sin\theta_1 - F_{ej} * \sin\theta_2 - F_2 * \cos\theta_2 - F_1 * \cos\theta_1 \pm F_5 * \cos\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}\right) \quad (3.320)$$

Si  $F_{YV}$  es positiva entonces esta hacia arriba.

Si  $F_{YV}$  es negativa entonces esta hacia abajo.

$$F_{YV} = [Kgf]$$



**Figura 3. 30. Fuerza resultante descompuesta en cada eje.**

Cálculo de la fuerza con respecto a eje z es decir se mira al anclaje desde arriba en el eje horizontal.

$$F_{XH} = F_{em} * \cos\theta_3 - F_{ej} * \cos\theta_4 \quad (3.321)$$

Positiva entonces esta hacia la derecha.

Negativa entonces esta hacia la izquierda.

$$F_{XH} = [Kgf]$$

Cálculo de la fuerza con respecto a eje z es decir se mira al anclaje desde arriba en el eje vertical.

$$F_{ZH} = F_{em} * \sin\theta_3 - F_{ej} * \sin\theta_4 \quad (3.322)$$

Positiva entonces esta hacia arriba.

Negativa entonces esta hacia abajo.

$$F_{ZH} = [Kgf]$$



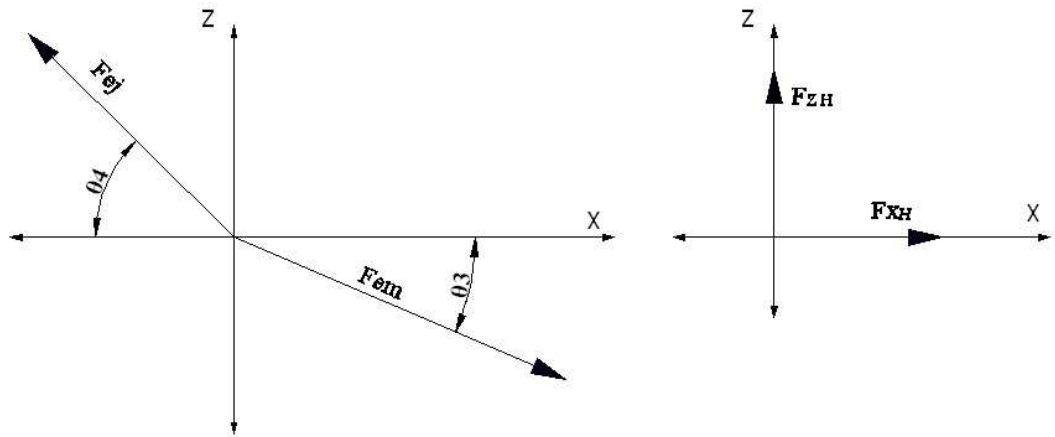


Figura 3. 31. Análisis de fuerzas con respecto al eje Z.

#### 6.11.3.3 Dimensiones del anclaje.

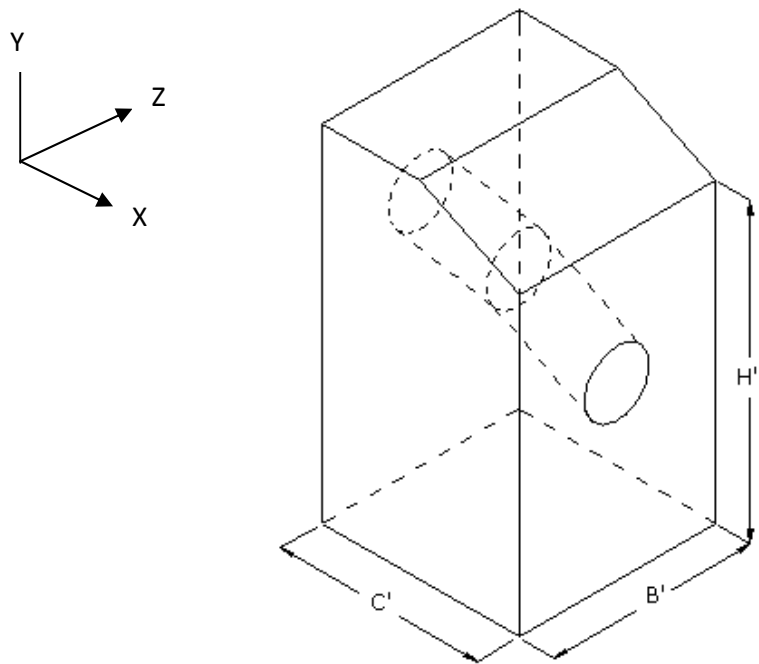
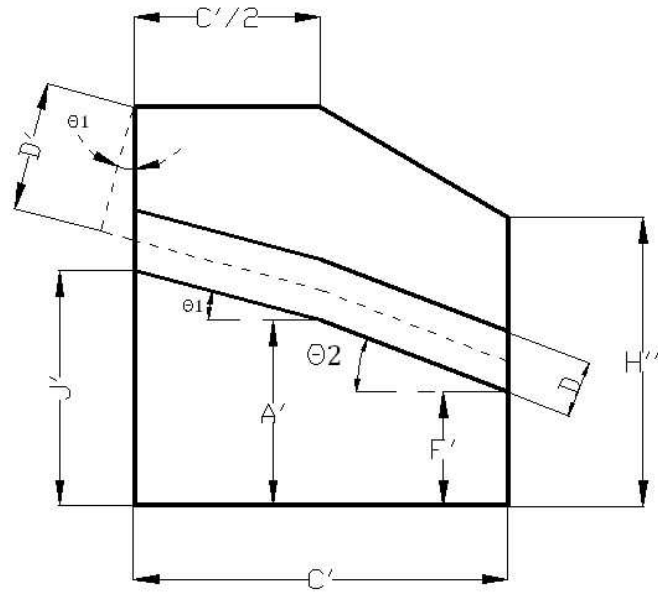


Figura 3. 32. Anclaje vista isométrica.



**Figura 3. 33. Dimensiones específicas del anclaje.**

Cálculo del ancho  $C'$  y largo  $B'$  del anclaje.

$$B' = 3 * D' = C' \quad (3.323)$$

$$B' = [m]$$

Longitud  $A'$  entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería de presión.

$$A' = 4 * D' \quad (3.324)$$

$$A' = [m]$$

Distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería aguas abajo  $F'$ .

$$F' = A' - 0.5 * C' * \tan \theta_2 \quad (3.325)$$

$$F' = [m]$$

Distancia superior entre la base del anclaje y la tubería aguas arriba  $J'$ .

$$J' = A' + 0.5 * C' * \tan \theta_1 \quad (3.326)$$

$$J' = [m]$$

Altura del anclaje aguas abajo  $H''$ .

$$H'' = 1.5 * D' + F' \quad (3.327)$$

$$H'' = [m]$$

Cálculo del peso del anclaje  $G_b$ .

$$Gb = \frac{F_{XV} + F_{ZH}}{0,3} - F_{YV} \quad (3.328)$$

$$Gb = [Kgf]$$

Cálculo del volumen total del anclaje  $V_b$ .

$$V_b = B'' * \frac{C'}{4} * \left( H'' + 3 * \left( J' + \frac{(D' + 0.5 * D)}{\cos \theta_1} \right) \right) \quad (3.329)$$

$$V_b = [m^3]$$

Cálculo del volumen  $V_p$  ocupado por la tubería de presión [1].

$$V_p = \frac{\pi}{4} * (D + 2 * e)^2 * \left( \frac{\frac{C'}{2}}{\cos \theta_1} + \frac{\frac{C'}{2}}{\cos \theta_2} \right) \quad (3.330)$$

$$V_p = [m^3]$$

Volumen  $V_{ca}$  ocupado por el hormigón en el anclaje.

$$V_{ca} = V_b - V_p \quad (3.331)$$

$$V_{ca} = [m^3]$$

Cálculo de la distancia  $e_{xc}$  necesaria para condición de volteo.

$$e_{xc} = \frac{(A' * (Fe_m * \cos \theta_1 - Fe_j * \cos \theta_2))}{F_{yv} + Gb} - \frac{Gb * \frac{C'}{2} - G_{at} * \frac{C'}{2}}{F_{yv} + Gb} \quad (3.332)$$

Si el resultado es positivo entonces esta hacia la derecha.

Si el resultado es negativo entonces esta hacia la izquierda.

$$e_{xc} = [m]$$

#### 6.11.3.4 Estabilidad.

El anclaje al igual que el apoyo debe ser estable al deslizamiento y al vuelco. Para que el anclaje no se entierre, el terreno debe tener una capacidad portante superior a la presión que ejerce dicho elemento, además de otras condiciones mencionadas a continuación.

$$Si |e_{xc}| < \frac{C'}{3} \rightarrow OK; \quad (3.333)$$

Caso contrario saldrá el mensaje: “variar C” ”

Debe satisfacer la relación entre los momentos  $M_{xc}$  y  $M_{xb}$  con la componente vertical  $F_{yv}$

$$M_{XC} = F_{YV} * \frac{L_{s1}}{2} - (F_{XV} + F_{XH}) * \frac{C'}{2} \quad (3.334)$$

$$M_{XC} = [Kgf * m]$$

$$M_{XB} = F_{YV} * \frac{L_{s1}}{2} - F_{ZH} * \frac{B'}{2} \quad (3.335)$$

$$M_{XB} = [Kgf * m]$$

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5 \rightarrow OK; \quad (3.336)$$

Caso contrario saldrá el mensaje: “variar C’ ”

$$\frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5 \rightarrow OK; \quad (3.337)$$

Caso contrario saldrá el mensaje: “variar B’ ”

Para que el anclaje no se entierre debe garantizarse que los esfuerzos transmitidos al terreno no sean superiores a la capacidad portante del terreno.

$$\delta = \frac{G_b + F_{YV}}{B' * C'} \quad (3.338)$$

$$\delta = \left[ \frac{Kgf}{m^2} \right]$$

$$si \delta < \Psi_{ad} \Rightarrow OK; \quad (3.339)$$

Caso contrario saldrá el mensaje: “variar C’ y/o B’ ”

La tensión de compresión  $\delta_c$  transmitida por el apoyo equivale a:

$$\delta_c = \frac{\Sigma F_V}{B' * C'} * \left( 1 + \frac{6 * |e_{XC}|}{C'} \right) \quad (3.340)$$

$$\delta_c = \left[ \frac{Kgf}{m^2} \right]$$

Si la tensión calculada es inferior a  $\Psi_{ad}$  el terreno cumple a cabalidad.

También es condición que la tensión de tracción sea mayor que cero.

$$\delta_t = \frac{\Sigma F_V}{B' * C'} * \left( 1 - \frac{6 * |e_{XC}|}{C'} \right) > 0 \quad (3.341)$$

$$\delta_t = \left[ \frac{Kgf}{m^2} \right] \quad (3.342)$$





$$m = \frac{(B-k)}{2} \quad (3.346)$$

$$\alpha = \text{Arc tan} \left( \frac{m}{L_{des}} \right) \quad (3.347)$$

$$L_{des}' = \frac{L_{des}}{\cos \alpha} \quad (3.348)$$

$$n' = \frac{(k-b)}{2} \quad (3.349)$$

$$\beta = Arc \tan \left( \frac{n'}{L_{Tr}} \right) \quad (3.350)$$

$$L_{Tr}' = \frac{L_{des}}{\cos \beta} \quad (3.351)$$

$$\begin{aligned} \nabla = & [B * (h' + H_a + Y_2) - b_1 * H_a] * a_m + (h' + H_a + Y_2) * a_m * (j + 2 * L'_{des}) + L'_{Tr} * a_m * \\ & (h' + H_a + Y_2) + (L'_{Tr} - LC) * a_m * (h' + H_a + Y_2) + (m + k) * L_{des} * a_m + (n' + b) * L_{Tr} * a_m + \\ & Y_3 * a_m * k + (k - b_2) * a_m * (h' + H_a + Y_2 - Y_3) \end{aligned} \quad (3.352)$$

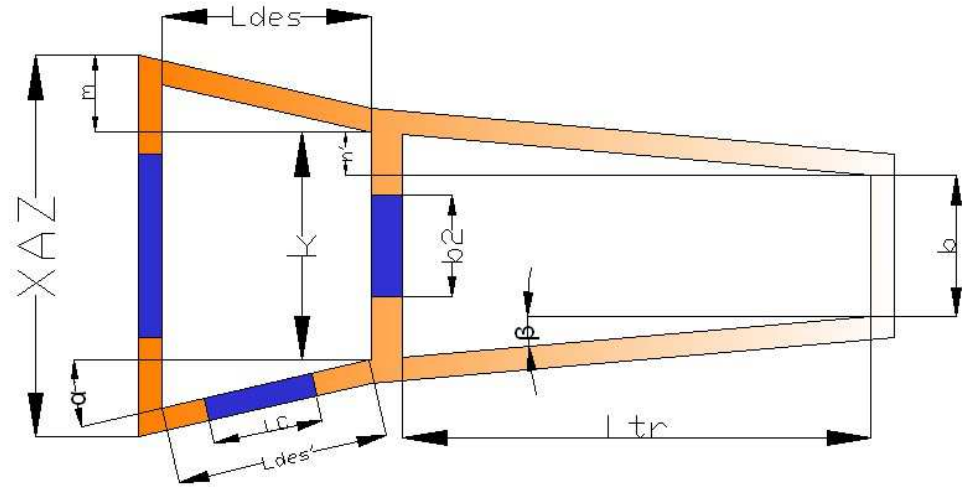
Los datos de la ecuación (3.352) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.3

#### 6.12.4 Volumen del desripiador en bocatoma con rejilla.

### Datos a ingresar:

- $a_m$ : [m]      Espesor de las paredes.
- k: [m]      Distancia en transición.
- Y: [m]      Altura del desripiador.
- $X_{AZ}$ : [m]      Altura del azud.
- LC: [m]      Longitud de la compuerta.

### Cálculo del volumen.



**Figura 3. 35. Dimensiones del desripiador en bocatoma de fondo.**

$$m = \frac{(X_{AZ} - k)}{2} \quad (3.353)$$

$$\alpha = \text{Arc tan} \left( \frac{m}{L_{des}} \right) \quad (3.354)$$

$$L_{des}' = \frac{L_{des}}{\cos \alpha} \quad (3.355)$$

$$n' = \frac{(k - b)}{2} \quad (3.356)$$

$$\beta = \text{Arc tan} \left( \frac{n'}{L_{Tr}} \right) \quad (3.357)$$

$$L_{Tr}' = \frac{L_{des}}{\cos \beta} \quad (3.358)$$

$$\forall = L_{des}' * a_m * Y * 2 + (k - b_2) * a_m * Y + 2 * L_{Tr}' * a_m * Y + b_2 * a_m * Y_3 + (m + k) * a_m * L_{des} + (n' + b) * a_m * L_{Tr} - L_C * a_m * Y \quad (3.359)$$

Los datos de la ecuación (3.359) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.4

#### 6.12.5 Volumen del canal de conducción rectangular.

**Datos a ingresar:**

- $a_m$ : [m] Espesor de las paredes.





**Cálculo del volumen:**

$$V = B * [(S + d + a_m) + b + (Y_1 + a_m)] * a_m + 2 * \left[ i * Q + (S + d + a_m) * \left( R + \frac{(Q-R)}{2} \right) \right] * a_m + Q * a_m * B \quad (3.365)$$

Los datos de la ecuación (3.365) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.6

**6.12.8 Volumen del aliviadero trapezoidal.****Datos a ingresar:**

- $a_m$ : [m]                      Espesor de las paredes.
- $Y_1$ : [m]                      Altura del vertedero.
- $Q$ : [m]                      Distancia inferior de pared.
- $R$ : [m]                      Distancia superior de pared.
- $S$ : [m]                      Altura de seguridad.
- $j$ : [m]                      Altura inferior.

**Cálculo del volumen:**

$$Y'_1 = \frac{Y_1}{\cos 30} \quad (3.366)$$

$$w = \tan 30 * a_m \quad (3.367)$$

$$\overline{xy} = \sin 60 * (Y'_1 + w) \quad (3.368)$$

$$\overline{rx} = \cos 60 * (Y'_1 + w) \quad (3.369)$$

$$\overline{ts} = (S + d + a_m) \quad (3.370)$$

$$\overline{py} = \frac{(S+d+a_m)}{\sin 60} \quad (3.371)$$

$$\overline{py}' = \overline{py} - 2 * w \quad (3.372)$$

$$\overline{rs} = \frac{\overline{ts}}{\tan 60} \quad (3.373)$$

$$\overline{uv} = Q - R - \overline{rs} \quad (3.374)$$

$$V = [(w * 3 + b + \overline{py}' + Y'_1) * a_m + w * j] * B + 2 * \left[ Q * j + \overline{ts} * \left( \frac{\overline{rs}}{2} + R + \frac{\overline{uv}}{2} \right) \right] * a_m + \left[ Q * a_m + \overline{rx} * \left( \frac{\overline{xy}}{2} + (j - a_m) \right) \right] * B \quad (3.375)$$

Los datos de la ecuación (3.375) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.7

### 6.12.9 Volumen del desarenador.

#### Datos a ingresar:

- $a_m$ : [m] Espesor de las paredes.
- $d$ : [m] Altura de agua en canal o calado.

#### Cálculo del volumen:

$$q = \tan 2.8624^\circ * L_d \quad (3.376)$$

$$a = \tan 12.5^\circ * L_e \quad (3.377)$$

$$r = d_d + d_r - q - d \quad (3.378)$$

$$r' = \sqrt{r^2 + L_e^2} \quad (3.379)$$

$$T = d_d - d_r \quad (3.380)$$

$$T' = \sqrt{T^2 + L_s^2} \quad (3.381)$$

$$Ld' = Ld / \cos 2.8624 \quad (3.382)$$

$$\begin{aligned} V = & 2 * \frac{L_e}{\cos 12.5^\circ} * a_m * \left[ (S + d + a_m) + \frac{(r+a_m)}{2} \right] + 2 * L_d * a_m * \left[ (d + r + S + a_m) + \frac{(q+a_m)}{2} \right] + 2 * \\ & (L_s / \cos 12.5) * \left[ (d + S + a_m) + \frac{(T+a_m)}{2} \right] * a_m + r' * (a + W_1) * a_m + L_d' * W * a_m + dr * W * \\ & a_m + T' * (\tan 12.5 * L_s + W_1) * a_m. \end{aligned} \quad (3.383)$$

Los datos de la ecuación (3.383) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.8

### 6.12.10 Volumen del tanque de presión.

#### Datos a ingresar:

- $a_m$ : [m] Espesor de las paredes.
- $d$ : [m] Altura de agua en canal o calado.

- S: [m] Altura de seguridad.

**Cálculo del volumen:**

$$q = (h_{2c} - S + d) \quad (3.384)$$

$$L_e = 2.5 * b_2 \quad (3.385)$$

$$W_1 = \frac{b_2}{3} \quad (3.386)$$

$$q' = \sqrt{L_e^2 + q^2} \quad (3.387)$$

$$\forall = 2 * \frac{L_e}{\cos 45} * a_m * \left[ (S + d + a_m) + \frac{(q + a_m)}{2} \right] + 2 * a_m * L_e * (h_{2c} + a_m) + a_m * \left( b_2 * (h_{2c} + a_m) - \frac{\pi * D^2}{4} \right) + a_m * q' * (L_e * \tan 45 + W_1) \quad (3.388)$$

Los datos de la ecuación (3.388) que no están ingresados, fueron calculados en el capítulo 3.9

#### 6.12.11 Volumen de cada apoyo.

**Cálculo del volumen:**

$$\forall = F * B * C + \frac{I - 0.5 * C * \tan \theta}{2} * B * C + \frac{C * (D + 2e)}{4 * \cos \theta} \left( B - (D + 2 * e) * \arctg \left( \frac{B}{D} \right) \right) \quad (3.389)$$

Los datos de la ecuación (3.389), fueron calculados en el capítulo 3.11.2

#### 6.12.12 Volumen de cada anclaje.

**Cálculo del volumen:**

$$\forall = V_b - V_p \quad (3.390)$$

Los datos de la ecuación (3.390), fueron calculados en el capítulo 3.11.3.3

## **CAPÍTULO IV**

### **7. ELABORACIÓN DEL SOFTWARE *microLORF* v1.0.**

#### **“SISTEMA DE PRE FACTIBILIDAD Y SOPORTE DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS”**

##### **7.1 Introducción.**

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar una perspectiva clara del sistema propuesto y de las metas y objetivos que cumple en base a la problemática actual. Éste capítulo hace énfasis en el análisis los escenarios problemáticos, los métodos de cálculos empleados, el paradigma de programación seleccionado, las metas de diseño, la arquitectura del sistema; entre otros.

##### **7.2 Presentación del sistema.**

###### **7.2.1 Análisis de la problemática.**

La política del Gobierno ecuatoriano en este sector es la de garantizar el abastecimiento permanente de la energía eléctrica, en las mejores condiciones de calidad y a los menores costos posibles de producción y tarifa, promoviendo el desarrollo de la hidroelectricidad, la energía renovable y la eficiencia energética.

El sector eléctrico ecuatoriano comprende la generación, distribución, transporte y consumo, de energía eléctrica. El subsector de generación eléctrica, con tecnologías limpias como es la generación hidroeléctrica, es muy importante en Ecuador.

Según el Consejo Nacional de Electrificación en su publicación sobre las Estadísticas 2008, el suministro de hidroelectricidad ha crecido en Ecuador, en promedio en 6,9% en los últimos

cinco años. Este crecimiento, si bien es superior al de la economía en su conjunto 4,5% en el mismo período, está por debajo del verdadero potencial que tiene el país, si se realizan las inversiones necesarias y se aprovecha su potencial hídrico.

El total generado en Ecuador hasta el 2008 aproximadamente, se muestra en la figura 4.1.

ENERGÍA TOTAL PRODUCIDA E IMPORTADA																	
AÑO	Hidráulica		Técnica						Eólica		Solar		Interconexión		Total		
			MCI		Turbogas		Turbovapor										
	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh	Var	GWh
2008	11.293,33	24,96%	3.460,45	9,13%	1.355,90	-42,51%	2.496,13	-9,84%	2,68	178,80%	0,03	46,94%	500,16	-41,90%	19.108,69	5,01%	
2007	9.037,66	26,76%	3.170,89	56,90%	2.358,48	-11,48%	2.768,66	-7,68%	0,96	-	0,02	22,06%	860,87	-45,18%	18.197,52	11,07%	
2006	7.129,49	3,59%	2.020,99	50,16%	2.664,48	17,39%	2.999,06	3,21%	-	-	0,01	20,10%	1.570,47	-8,88%	16.384,50	8,31%	
2005	6.882,64	-7,14%	1.345,93	8,39%	2.269,72	40,04%	2.905,72	25,76%	-	-	0,01	-	1.723,45	4,98%	15.127,47	6,33%	
2004	7.411,70	3,22%	1.241,75	166,67%	1.620,78	13,89%	2.310,62	-6,71%	-	-	-	-	1.641,61	46,62%	14.226,46	12,32%	
2003	7.180,42	-4,57%	465,65	-8,75%	1.423,15	-4,99%	2.476,91	5,17%	-	-	-	-	1.119,61	1888,62%	12.665,74	6,04%	
2002	7.524,26	6,42%	510,29	-3,16%	1.497,82	20,16%	2.355,19	6,78%	-	-	-	-	56,30	153,24%	11.943,86	7,87%	
2001	7.070,65	-7,10%	526,92	61,53%	1.246,56	-17,58%	2.205,67	89,72%	-	-	-	-	22,23	-	11.072,03	4,33%	
2000	7.611,23	6,05%	326,21	18,40%	1.512,42	186,90%	1.162,58	-50,08%	-	-	-	-	-	-100,00%	10.612,44	2,72%	
1999	7.176,73	10,31%	275,52	-22,87%	527,16	-69,54%	2.328,71	1,41%	-	-	-	-	23,76	-	10.331,88	-5,13%	
1998	6.506,10	-0,43%	357,20	-13,67%	1.730,62	35,24%	2.296,44	7,60%	-	-	-	-	-	-	10.890,35	5,10%	
1997	6.534,18	3,01%	413,78	17,68%	1.279,63	40,56%	2.134,16	23,04%	-	-	-	-	-	-	10.361,75	10,94%	
1996	6.343,42	22,92%	351,61	-36,45%	910,37	23,09%	1.734,50	-12,18%	-	-	-	-	-	-	9.339,90	10,81%	
1995	5.160,55	-21,40%	553,30	348,76%	739,61	305,76%	1.975,14	55,14%	-	-	-	-	-	-	8.428,60	3,49%	
1994	6.565,28	13,00%	123,30	20,62%	182,28	19,43%	1.273,14	-5,44%	-	-	-	-	-	-	8.144,00	9,89%	
1993	5.810,14	16,82%	102,22	-40,81%	152,62	-50,78%	1.346,33	-22,61%	-	-	-	-	-	-	7.411,30	2,99%	
1992	4.973,58	-2,02%	172,69	47,72%	310,07	293,59%	1.739,68	2,16%	-	-	-	-	-	-	7.196,03	3,18%	
1991	5.075,92	-	116,91	-	78,78	24,07%	1.702,85	-	-	-	-	-	-	-	6.974,46	0,00%	

Figura 4. 1. Suministro de electricidad en el Ecuador hasta el año 2008



**Figura 4. 2. Diagrama de la energía producida e importada (GWh) en Ecuador**

Existe, para la importación de energía desde Colombia y Perú, un sistema de interconexión; con Colombia, se realiza a través de las líneas de transmisión Tulcán - Ipiates a 138 kV y Pomasqui - Jamondino a 230 kV. La interconexión con Perú se realiza mediante la línea de transmisión Machala-Zorritos, de acuerdo a la información publicada por la Empresa de Transmisión de Energía- TRANSELECTRIC.

En el año 2008 el total de centrales de generación sumaron 211, de las cuales 88 están conectadas al Sistema Nacional Interconectado (SNI) y 123 se encuentran aisladas y corresponden a empresas auto generadoras. Un objetivo prioritario del Gobierno Nacional es cambiar la matriz de generación energética del Ecuador. Los proyectos hidroeléctricos potenciales reemplazarían la importación de electricidad realizada desde Colombia, y la



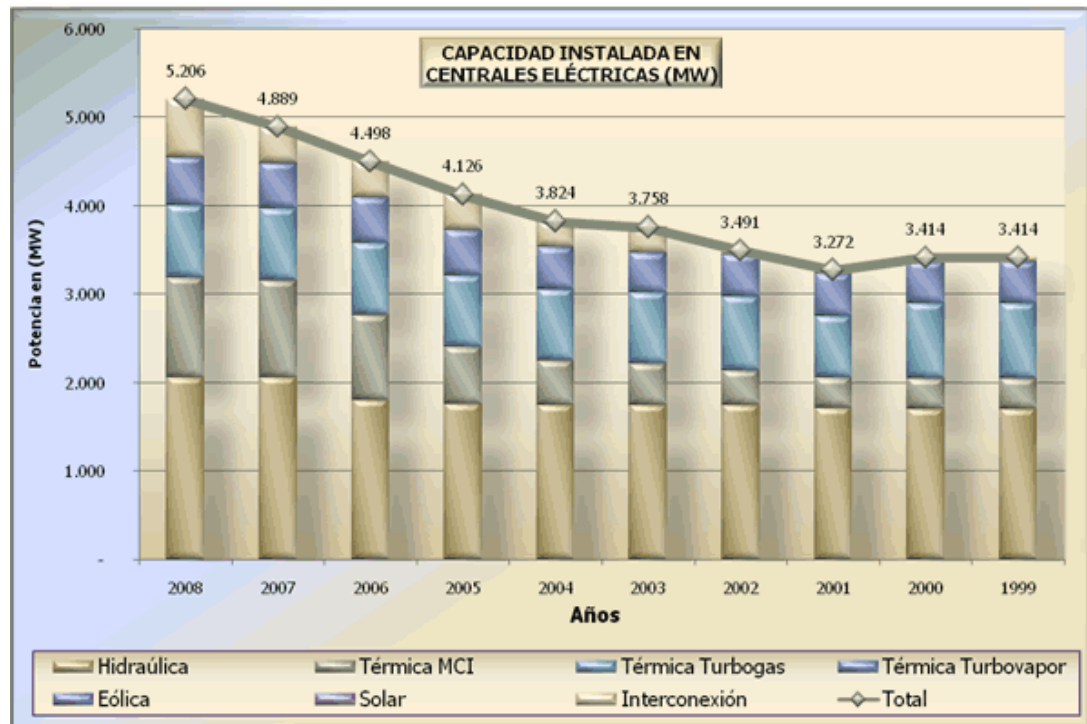
generación que se obtiene por medios termoeléctricos que son costosos y generan alto impacto ambiental, como se establece por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER, en la publicación de la Matriz Energética.

La capacidad energética nominal instalada del País (2008) es 5000 MV y la capacidad energética efectiva es 4354 MV, con la siguiente composición: hidráulica 2030.68 MV (46.62%); térmica 2082.72 MV (47.81%), e importación 240 MV (5.51%). El precio medio total por la venta de energía generada en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es de USD 4,87 centavo/kWh, al 2008; mientras, el costo de energía para distribución es de 8,53 centavo/kWh.

Capacidad Instalada en Centrales Eléctricas (MW)								
Años	Hidráulica	Térmica Turbogas	Térmica MCI	Térmica Turbovapor	Eólica	Solar	Interconexión	Total
2008	2.056	807	1.138	553	2,40	0,02	650	<b>5.206</b>
2007	2.057	807	1.102	520	2,40	0,02	400	<b>4.889</b>
2006	1.801	807	969	520			400	<b>4.498</b>
2005	1.764	807	644	511			400	<b>4.126</b>
2004	1.746	807	500	481			290	<b>3.824</b>
2003	1.746	807	469	446			290	<b>3.758</b>
2002	1.746	831	398	476			40	<b>3.491</b>
2001	1.715	695	346	476			40	<b>3.272</b>
2000	1.707	845	346	476			40	<b>3.414</b>
1999	1.707	845	346	476			40	<b>3.414</b>
1998	1.526	726	494	598				<b>3.344</b>
1997	1.507	770	137	712				<b>3.126</b>
1996	1.504	509	151	575				<b>2.739</b>
1995	1.504	315	253	478				<b>2.550</b>
1994	1.496	315	276	478				<b>2.565</b>
1993	1.487	207	275	478				<b>2.447</b>
1992	1.486	207	276	478				<b>2.447</b>
1990	911	162	318	478				<b>1.869</b>
1985	751	210	383	480				<b>1.824</b>
1980	226	174	361	321				<b>1.082</b>
1975	140	77	162	129				<b>508</b>
1970	106	14	60	112				<b>292</b>

MCI=Motor de Combustión Interna

**Figura 4. 3. Tabla de la capacidad instalada en centrales eléctricas.**



**Figura 4. 4. Gráfico de la capacidad instalada en centrales eléctricas (MW) en Ecuador.**

En países como el nuestro, la naturaleza pone a nuestra disposición el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica para proveer de electricidad a los todos hogares, industrias e iluminación en general, vitales para cualquier sociedad moderna. Gracias a ésta energía se desarrollan pilares fundamentales para cualquier país como la producción, economía, trabajo, entre muchos otros, con connotaciones importantes. Por tales motivos, las plantas generadoras de energía hidroeléctrica juegan un papel preponderante en el desarrollo de los pueblos.

El órgano fundamental dentro una Central Hidroeléctrica es la construcción civil, ya que se encarga de transportar el agua hacia la casa de maquinas en donde se produce la energía eléctrica a través de la turbina y el generador.

### 7.3 Descripción.

El Sistema de Diseño y Soporte de Micro Centrales Hidroeléctricas *microLORF* es una herramienta confiable para el soporte, guía, información y diseño de la Obra Civil de micro centrales hidroeléctricas. Mediante la utilización del sistema *microLORF* se agilizarán las tareas de diseño en base a parámetros ingresados por el usuario, cálculos, visualización de planos ilustrativos, entre otros.

### 7.4 Funciones principales.

- **Diseño de las distintas partes de la construcción civil para el diseño de microcentrales.**  
Ingresando datos de entrada para cada uno de los componentes, es decir de los dos tipos de bocatomas, diseño del azud, cálculo de la conducción, aliviaderos, chimenea de equilibrio, desarenador tanque de presión y tubería de presión; presenta ventanas de resultados una vez comparadas las condiciones de diseño.
- **Visualizar Resultados:** El software es capaz de visualizar e imprimir los parámetros de diseño elegidos, resultados obtenidos mediante reportes para el correspondiente informe.
- **Interacción con otras aplicaciones:** Se ha adaptado al sistema la manera de abrir aplicaciones necesarias para su desarrollo, tales como: convertidor de unidades, calculadora, aplicación de costos.
- **Grabar y abrir información acerca del proyecto en general:** Como en toda aplicación de Windows es necesario salvar la información para poder hacer revisiones o modificaciones.

### 7.5 Modelo de programación.

#### 7.5.1 Programación orientada a eventos.

Para la construcción del Sistema de Soporte y Diseño de Micro Centrales Hidroeléctricas se ha optado por un modelo de programación visual con un estilo de programación enfocado a eventos, donde la estructura como la ejecución de los programas van determinados por los sucesos que el usuario

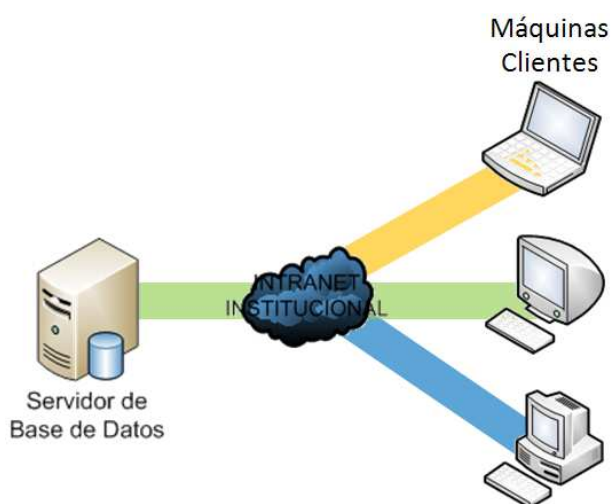
provoque sobre el sistema. Con el uso de éste enfoque y gracias a las características del lenguaje de programación seleccionado, Visual Studio.NET; se ha logrado construir una herramienta visual que permite una interacción con el usuario enormemente mejorada, permitiendo la implementación de interfaces enriquecidas, interactivas, intuitivas y de fácil manejo; que agilizan el trabajo del usuario, mejorando notablemente su productividad en las tareas de diseño.

Gracias a la exitosa conjugación del paradigma de programación enfocado a eventos y un lenguaje de alto nivel como el Visual Studio.NET para la implementación del sistema *microLORF*; se ha logrado construir una herramienta fiable, útil, amigable y de grandes beneficios para el soporte y diseño de microcentrales hidroeléctricas; con base sustentable en los principios y conocimientos de la Ingeniería Mecánica y Civil.

### 7.5.2 Visión.

Posterior a la implantación del **El Sistema de Diseño y Soporte de Micro Centrales Hidroeléctricas *microLORF***, las instituciones contarán con una herramienta visual fiable, útil y amigable que agilizará las tareas de diseño, evaluación y construcción de la Obra Civil en las microcentrales hidroeléctricas, fortaleciendo la imagen de modernización, prestigio institucional y aportando al desarrollo del país.

## 7.6 Arquitectura del sistema.



**Figura 4. 5. Arquitectura del sistema**

*microLORF v1.0* trabaja bajo una conexión a un servidor de base de datos (inicialmente configurada) en donde permite guardar la información y restablecerla, así como almacenar listados de variables. Adicionalmente la necesidad de trabajar con una base de datos es simplemente porque *microLORF* además de plasmar una idea de soporte sobre las características principales de la turbina, éste desarrolla en su totalidad el diseño de las obras civiles para la microcentral. La base de datos es manejada por el motor relacional Microsoft SQL Server 2000, que deberá ser instalado en la máquina servidor.

## **7.7 Introducción a SQL Server 2000. [9] [10] [11]**

SQL Server 2000 es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (SGDBR o RDBMS: Relational Database Management System) diseñado para trabajar con grandes cantidades de información y con la capacidad de cumplir con los requerimientos de proceso de información para aplicaciones comerciales y sitios Web.

Ofrece el soporte de información para las tradicionales aplicaciones Cliente/ Servidor, las cuales están conformadas por una interfaz a través de la cual los clientes acceden a los datos por medio de una LAN.

La hoy emergente plataforma .NET exige un gran porcentaje de distribución de recursos, desconexión a los servidores de datos y un entorno descentralizado, para ello sus clientes deben ser livianos, tales como los navegadores de Internet, los cuales accederán a los datos por medio de servicios como el Internet Information Services (IIS).

SQL Server 2000 está diseñado para trabajar con dos tipos de bases de datos:

- OLTP (OnLine Transaction Processing): Son bases de datos caracterizadas por mantener una gran cantidad de usuarios conectados concurrentemente realizando ingreso y/o modificación de datos. Por ejemplo: entrada de pedidos en línea, inventario, contabilidad o facturación.
- OLAP (OnLine Analytical Processing): Son bases de datos que almacenan grandes cantidades de datos que sirven para la toma de decisiones, como por ejemplo las aplicaciones de análisis de ventas.

SQL Server puede ejecutarse sobre redes basadas en Windows Server así como sistema de base de datos de escritorio en máquinas Windows NT Workstation, Windows Millenium y Windows 98.

Los entornos Cliente / Servidor están implementados de tal forma que la información se guarde de forma centralizada en un computador central (servidor), siendo el servidor responsable del mantenimiento de la relación entre los datos, asegurarse del correcto almacenamiento de los datos, establecer restricciones que controlen la integridad de datos, etc.

En una base de datos relacional, los datos están organizados en tablas (llamadas relaciones en la teoría relacional). Una tabla representa una clase de objeto que tiene importancia para una organización. Por ejemplo, se puede tener una base de datos con una tabla para empleados, otra para clientes y otra para productos del almacén. Las tablas están compuestas de columnas y filas (atributos y tuplas en la teoría relacional).

Al organizar los datos en tablas, se pueden encontrar varias formas de definirlos. La teoría de las bases de datos relacionales define un proceso, la normalización, que asegura que el conjunto de tablas definido organizará los datos de manera eficaz

### **7.7.1 Bases de datos de SQL Server.**

SQL Server soporta bases de datos del sistema y bases de datos del usuario. Las bases de datos del sistema almacenan información que permite operar y administrar el sistema, mientras que las de usuario almacenan los datos requeridos por las operaciones del cliente.

Las bases de datos del sistema son:

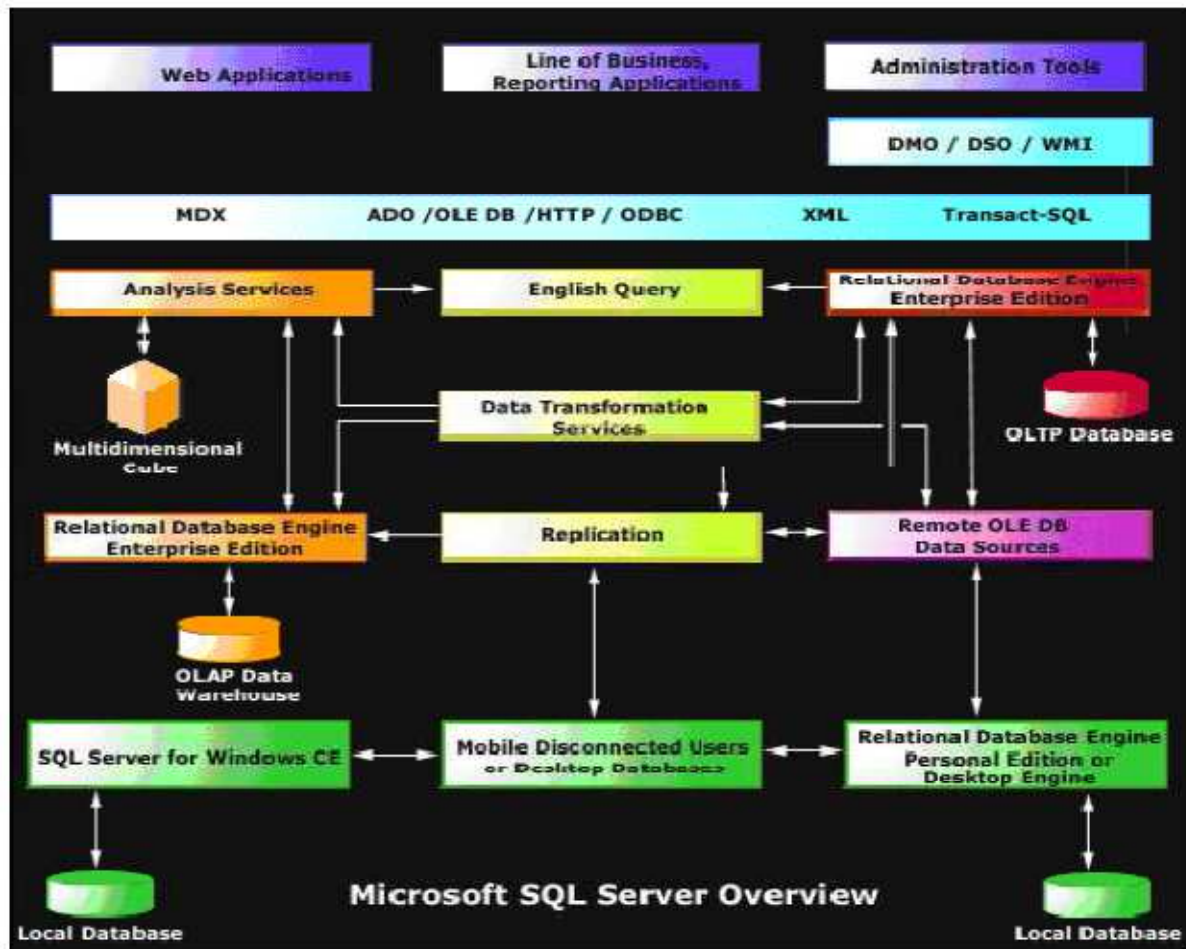


Figura 4. 6. Componentes de SQL Server.

### 7.7.2 Objetos de una base de datos.

Las Tablas son objetos de la base de datos que contienen la información de los usuarios; estos datos están organizados en filas y columnas, de manera similar a la de una hoja de cálculo. Cada columna representa un dato aislado y en bruto que por sí solo no brinda información, por lo tanto estas columnas se deben agrupar y formar una fila para obtener conocimiento acerca del objeto tratado en la tabla.

Una Vista es un objeto definido por una consulta. Similar a tabla, la vista muestra un conjunto de columnas y filas de datos con un nombre, sin embargo, en la vista no existen datos, estos son obtenidos desde las tablas subyacentes a la consulta. De esta forma si la información cambia en las

tablas, estos cambios también serán observados desde la vista. Fundamental emplean para mostrar la información relevante para el usuario y ocultar la complejidad de las consultas.

Los Tipos de datos especifican qué tipo de valores son permitidos en cada una de las columnas que conforman la estructura de la fila. Por ejemplo, si se desea almacenar precios de productos en una columna se debería especificar que el tipo de datos sea *money*, si se desea almacenar nombres se debe escoger un tipo de dato que permita almacenar información de tipo carácter.

SQL Server nos ofrece un conjunto de tipos de datos predefinidos, pero también existe la posibilidad de definir tipos de datos de usuario.

### 7.7.3 Introducción a Transact-SQL. [14]

Transact-SQL es fundamental para trabajar con Microsoft® SQL Server™. Todas las aplicaciones que se comunican con SQL Server lo hacen enviando instrucciones Transact-SQL al servidor, independientemente de la interfaz de usuario de la aplicación.

Transact-SQL se genera desde muchas clases de aplicaciones, como son las siguientes:

- Aplicaciones generales de productividad en oficinas.
- Aplicaciones que utilizan una interfaz gráfica de usuario (GUI) para permitir al usuario seleccionar las tablas y columnas cuyos datos desea ver.
- Aplicaciones que utilizan instrucciones del lenguaje general para determinar los datos que el usuario desea ver.
- Aplicaciones de la línea de negocios que almacenan sus datos en bases de datos SQL Server.

Estas aplicaciones pueden provenir de otros proveedores o se pueden haber escrito internamente.

Secuencias de comandos Transact-SQL que se ejecutan con herramientas tales como **osql**.

Aplicaciones creadas con sistemas de desarrollo tales como Microsoft Visual C++®, Microsoft Visual Basic® o Microsoft Visual J++®, y que utilizan interfaces de programación de aplicaciones (API) de base de datos tales como ADO, OLE DB y ODBC.

Páginas Web que extraen datos de bases de datos SQL Server.

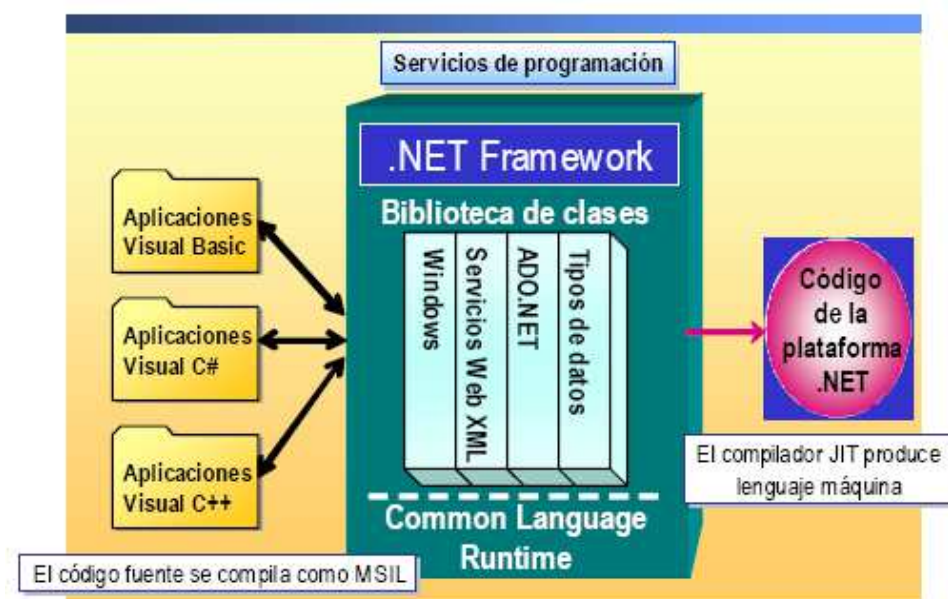


Sistemas de bases de datos distribuidos desde los que se duplican datos SQL Server en varias bases de datos o se ejecutan consultas distribuidas.

Almacenes de datos en los que los datos se extraen de los sistemas de procesamiento de transacciones en línea (OLTP) y se resumen para el análisis dirigido a la toma de decisiones.

## 7.8 .NET Framework

### 7.8.1 Introducción.



**Figura 4. 7. Funcionamiento del .NET Framework.**

El .NET Framework es un conjunto de servicios de programación diseñados para simplificar el desarrollo de aplicaciones sobre el entorno distribuido de Internet. El .NET Framework tiene dos componentes principales: el Common Language Runtime y la biblioteca de clases.

### 7.8.2 Interacción de las aplicaciones con .NET Framework.

Cuando creamos una nueva aplicación Windows en Visual Basic .NET, se nos proporciona un código inicial que incluye el espacio de nombres **System.Windows.Forms** y la clase **Form**. Con esta clase, podemos crear fácilmente ventanas, botones, menús, barras de herramientas y otros elementos de

pantalla. Cuando compilamos la aplicación, el código se traduce al lenguaje común del entorno de ejecución, Microsoft Intermediate Language (MSIL). Una vez la aplicación se ha compilado, el entorno de ejecución gestiona su ejecución.

El entorno de ejecución incluye una característica denominada compilación *just-in-time* (JIT), que traduce código MSIL al lenguaje máquina del sistema en el que la aplicación se ejecutará. Cuando un dispositivo cliente con la plataforma .NET lanza la aplicación en Visual Basic .NET, se ejecuta en el lenguaje máquina del sistema cliente y puede integrarse totalmente e interactuar con otras aplicaciones y servicios basados en .NET independientemente del lenguaje en el que hayan sido desarrollados.

### 7.8.3 Términos y definiciones.

Para entender cómo funciona el .NET Framework, debemos estar familiarizados con la siguiente terminología:

- **Clase:**

Una *clase* es una entidad de programación con nombre que consta de un conjunto común de métodos, propiedades y atributos. Por ejemplo, **Form** es una de las clases del espacio de nombres **System.Windows.Forms** que se utiliza para crear formularios Windows Forms.

- **Espacio de nombres:**

Un *espacio de nombres* identifica una colección de clases relacionadas y/u otros espacios de nombres del .NET Framework. Algunos ejemplos de espacios de nombres incluyen:

*System*

*System.Windows.Forms*

- **Biblioteca de clases:**

La *biblioteca de clases* es una colección completa orientada a objetos de clases reutilizables y organizadas en espacios de nombres jerárquicos en base a su funcionalidad. Podemos utilizar la biblioteca de clases para desarrollar aplicaciones que abarcan desde las aplicaciones clientes

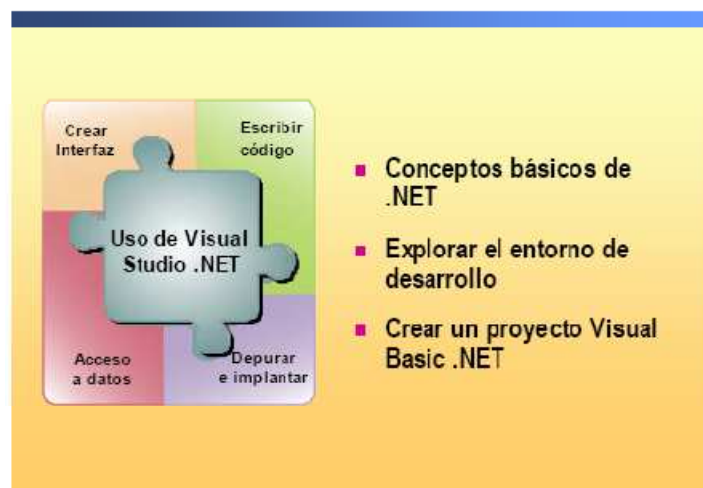
tradicionales hasta las aplicaciones basadas en las últimas innovaciones proporcionadas por ASP.NET y los servicios Web XML.

- **Common Language Runtime:**

El *Common Language Runtime* es la base del .NET Framework. En el entorno .NET, los programadores desarrollan aplicaciones en el lenguaje compatible con .NET que elijan; el código se compila en MSIL, y el entorno de ejecución gestiona y ejecuta el código compilado.

Además de los lenguajes de Microsoft como Visual Basic, Microsoft Visual C#™, Microsoft Visual C++® y Microsoft JScript®, otros lenguajes, incluyendo Perl, Smalltalk y Eiffel, han sido modificados para que sean compatibles con la plataforma .NET.

## 7.9 Visual Studio .NET. [14]



**Figura 4. 8. Descripción general de Visual Studio .NET**

### 7.9.1 Introducción.

Visual Studio .NET es un entorno de desarrollo integrado que nos ayuda a diseñar, desarrollar, depurar e implantar con rapidez soluciones basadas en el .NET Framework. Podemos acceder a un conjunto común de herramientas, diseñadores y editores desde cualquiera de los lenguajes de programación de Visual Studio .NET. Podemos crear aplicaciones Windows Forms y Web Forms que integren datos y lógica de negocio.



**Figura 4. 9. Entorno de Visual Studio .NET**

### 7.9.2 Definiciones.

Visual Studio .NET incluye las características de programación que se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 1. Características del programa. [14]**

Característica	Descripción
Diseñador de Windows Forms	Una superficie de diseño gráfico que permite crear rápidamente el interfaz de usuario de una aplicación. Podemos arrastrar o dibujar controles sobre esta superficie.
Herramientas para Windows Forms	Se proporciona un Diseñador de Windows Forms, una plantilla <i>Aplicación Windows</i> , referencias de proyectos básicos y código de inicio como ayuda para crear aplicaciones Windows Forms estándares.
Herramientas para Web Forms	Se proporciona un Diseñador de Web Forms, una plantilla <i>Aplicación Web ASP.NET</i> , referencias de proyectos básicos y código de inicio como ayuda para crear aplicaciones Web Forms en las que el interfaz de usuario principal es un navegador.
Herramientas para servicios Web XML	Se proporciona una plantilla <i>Servicios Web ASP.NET</i> . Esta plantilla construye la estructura de un proyecto de aplicación Web en un servidor Web de desarrollo y un archivo de solución Visual Studio .NET en nuestro ordenador local.

Soporte de múltiples lenguajes	Todos los lenguajes de programación de la plataforma .NET, incluyendo Visual Basic .NET y Visual C#, están integrados en el entorno de desarrollo.
Acceso a datos	Componentes para crear aplicaciones que comparten datos, herramientas de bases de datos visuales para acceder a los datos y un robusto conjunto de clases de Microsoft ADO.NET facilitan el trabajo con todo tipo de datos.
Gestión de errores	Las herramientas de depuración con soporte multilenguaje nos ayudan a encontrar y solucionar errores de código, y podemos utilizar clases de excepciones estructuradas para incluir la gestión de errores en nuestra aplicación.
Asistentes	Los asistentes nos ayudan a completar rápidamente tareas comunes y quizás complejas. Cada página de un asistente nos ayuda a establecer opciones, configurar y personalizar proyectos.

### 7.9.3 Desarrollo de un proyecto en Visual Studio .Net.



**Figura 4. 10. Desarrollo de un proyecto en Visual Studio .NET**

Visual Basic .NET contiene todo lo necesario para crear nuestras propias aplicaciones para Windows, de principio a fin. Para crear el interfaz de usuario, ubicamos controles en un formulario desde el Cuadro de herramientas. A continuación, personalizamos los controles estableciendo propiedades. Seguidamente, definimos qué debería hacer nuestro programa escribiendo el código. Finalmente, podemos guardar, ejecutar y compilar nuestro programa para que otros también puedan utilizarlo.

### **Pasos básicos:**

Crear una aplicación en Visual Basic .NET implica siete pasos básicos:

- 1. Crear una especificación de diseño.** La especificación de diseño es el anteproyecto que utilizamos cuando creamos una aplicación. Es bueno tomarnos tiempo antes de escribir código para diseñar la aplicación que vamos a crear. Aunque Visual Basic .NET proporciona herramientas de ayuda para desarrollar una solución con rapidez, tener una idea clara de las necesidades del usuario y el conjunto inicial de características nos ayudará a ser más eficaces en la labor de desarrollo. También nos ayudará a ahorrar tiempo al minimizar la posible reescritura de código debido a una pobre o inexistente especificación de diseño.
- 2. Crear el interfaz de usuario.** Para crear el interfaz de nuestra aplicación, en primer lugar debemos ubicar controles y objetos en un formulario dibujándolos o pintándolos en el Diseñador de Windows Forms. Podemos observar otras aplicaciones, como Microsoft Excel o Microsoft Word, para obtener ideas sobre cómo diseñar el interfaz. Si necesitamos información sobre el diseño de interfaces, podemos consultar el libro *Microsoft Windows User Experience*, publicado por Microsoft Press®.
- 3. Establecer las propiedades de los objetos del interfaz de usuario.** Después de añadir objetos a un formulario, podemos establecer sus propiedades en la ventana Propiedades o en el Editor de código.
- 4. Escribir código para añadir funcionalidad.** Una vez hayamos establecido las propiedades iniciales del formulario y sus objetos, podemos añadir código que se ejecute en respuesta a eventos. Los eventos ocurren cuando se realizan diferentes acciones sobre un control u objeto. Por ejemplo, el evento **Clic** de un botón tiene lugar cuando un usuario hace clic sobre él con el ratón. Para la mayoría

de las aplicaciones, también necesitaremos escribir código para añadir lógica de negocio y para acceder a datos.

**5. Probar y depurar la aplicación.** Probar y depurar no es un paso que se haga una vez, sino algo que realizamos reiteradamente durante el proceso de desarrollo. Cada vez que realizamos un cambio importante en alguno de los pasos 2, 3 y 4, se ejecutará una versión de depuración de la aplicación y nos aseguraremos de que funciona según lo esperado. Visual Basic .NET ofrece numerosas herramientas de depuración que podemos utilizar para encontrar y reparar errores de su aplicación.

**6. Generar un archivo ejecutable.** Una vez finalizado el proyecto, crearemos una versión *release* del proyecto y lo volveremos a probar y depurar. Esto compila los diversos archivos que constituyen el programa en un archivo ejecutable aislado denominado *ensamblado*.

**7. Crear una aplicación de instalación.** Para ejecutar nuestra aplicación, normalmente el usuario necesita otros archivos, como cualquier archivo DLL (*dynamic-link library*) que hayamos utilizado para crear nuestra aplicación. Visual Basic .NET proporciona el asistente de instalación (*Setup Wizard*), que automatiza la creación del programa de instalación y garantiza que el usuario tiene todos los archivos necesarios.

## **7.10 Requerimientos.**

### **7.10.1 Requerimientos de hardware.**

Para ejecutar este software se tiene que disponer de cierto hardware instalado en su equipo así como también en el equipo servidor. Entre los requisitos mínimos del sistema están los siguientes:

Servidor:

- PC con procesador Pentium III de 500 MHZ o superior.
- 512 MB de memoria RAM.
- 350 MB de espacio disponible en el disco duro.
- Tarjeta de Red Fast Ethernet 100Mbps (configurada para acceder a la red institucional).
- Unidad de CD-ROM o lector de formato DVD.
- Pantalla SVGA (**1024 x 768 pixeles**) o de mayor resolución, compatible con Microsoft Windows.
- Teclado y Mouse (ratón) u otro dispositivo de puntero.

Cliente:

- PC con procesador Pentium III de 300 MHZ o superior.
- 256 MB de memoria RAM.
- 100 MB de espacio disponible en el disco duro.
- Tarjeta de Red Fast Ethernet 100Mbps (configurada para acceder a la red institucional).
- Unidad de CD-ROM o lector de formato DVD.
- Pantalla SVGA (**1024 x 768 pixeles**) o de mayor resolución, compatible con Microsoft Windows.
- Teclado y Mouse (ratón) u otro dispositivo de puntero.

**7.10.2 Requerimientos de software.**

Para ejecutar este software tiene que disponer de cierto software mínimo instalado previamente en el equipo. Entre los requisitos del sistema están:

Servidor:

- Sistema Operativo Microsoft Windows XP Service Pack 2 o superior.



- Microsoft .NET Framework SDK v.2.0.

Cliente:

- Sistema Operativo Microsoft Windows XP Service Pack 2 o superior.
- Microsoft .NET Framework SDK v.2.0.
- Master Converter: Aplicativo de conversión de sistema de unidades.
- A.P.U.: Aplicativo para evaluación de costos civiles.
- SKF: Aplicativo de Selección de Rodamientos.
- Equipo de impresión.

## **7.11 Manual de instalación.**

### **7.11.1 Introducción.**

El manual de instalación sirve para brindar a los usuarios la manera explicativa cómo poner en funcionamiento la aplicación en su servidor, siguiendo secuencias necesarias para completar de instalar la aplicación *microLORF v1.0* y sus componentes auxiliares de funcionamiento.

Es así que se detalla a continuación la descripción de sus componentes.

A continuación se presenta una lista de programas necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación *microLORF v1.0*:

### **7.11.2 Componentes de instalación de *microLORF v1.0***

**Contenido del CD:**

- **Microsoft .NET Framework 2.0. (dotnetfx)**

Componente que permite la ejecución del sistema. Es un marco de trabajo que contiene las clases necesarias para ejecutar el sistema *microLORF*.

- **Master Converter. (Convertidor de Unidades.)**

Aplicación que permite realizar transformaciones de sistemas de unidades de diferentes magnitudes.

- **SKF.**

Aplicativo que permite selección de rodamientos dentro del aplicativo en el Diseño Mecánico de los ejes de las Turbinas.

- **SQLExpress.**

Archivo ejecutable que permite conexión del sistema *microLORF* con la base de datos para manejo de datos y curvas.

- ***microLORF*Installer.msi**

Corresponde al instalador del Sistema. Consiste en un archivo .msi o .exe que instala la herramienta en su ordenador.

- **How to Install *microLORF* !!!**

Un documento de extensión .txt, donde especifica el procedimiento a instalar el producto.

### 7.11.3 Proceso de instalación de los componentes.

#### 7.11.3.1 Instalación de Microsoft .NET Framework 2.0.



**Figura 4. 11. Microsoft .NET**

Hacer doble clic sobre el archivo ejecutable netfx.exe, aparecerá la pantalla de inicio de instalación, aceptar los términos de instalación (primera opción), entonces: (INSTALL>).



**Figura 4. 12. Microsoft .NET**

Cuando termine la instalación, clic en terminar, (FINISH).



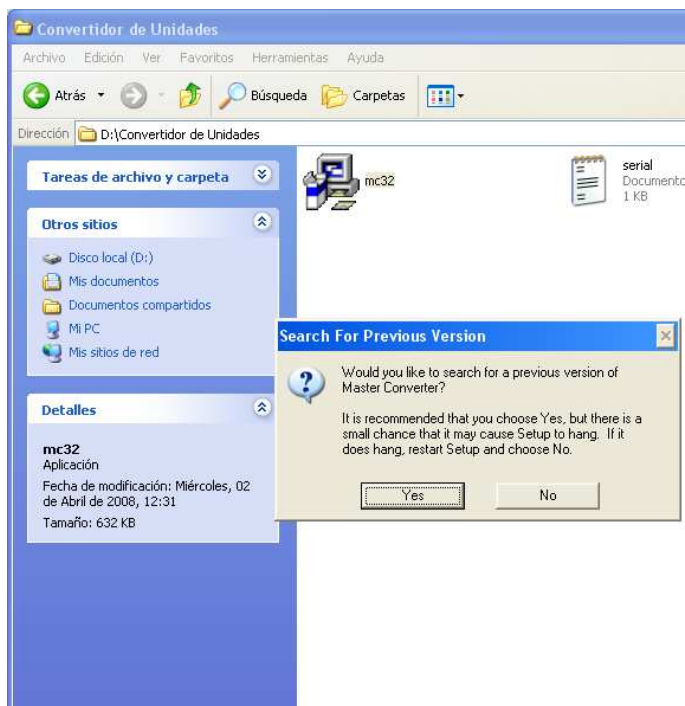
**Figura 4. 13. Microsoft .NET**

Para adquirir el instalador del .NET Framework, puede conseguirlo en el siguiente link:

<http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyID=0856EACB-4362-4B0D-8EDD-AAB15C5E04F5&displaylang=en>

### 7.11.3.2 Instalación del Master Converter.

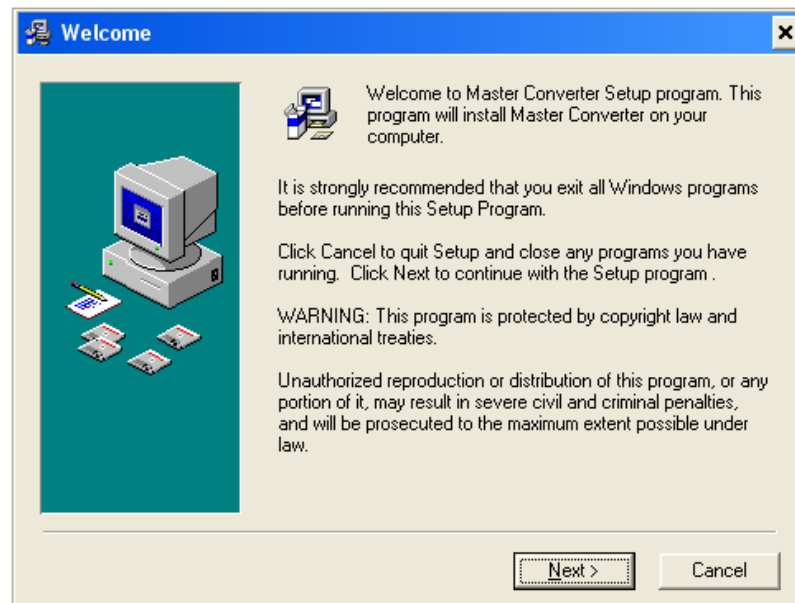
Hacer doble clic sobre el archivo ejecutable mc32.exe, aparecerá un cuadro de diálogo que indica que si desea buscar versiones anteriores del software en su equipo, es recomendable aceptar. (YES)



**Figura 4. 14. Master Converter 1**

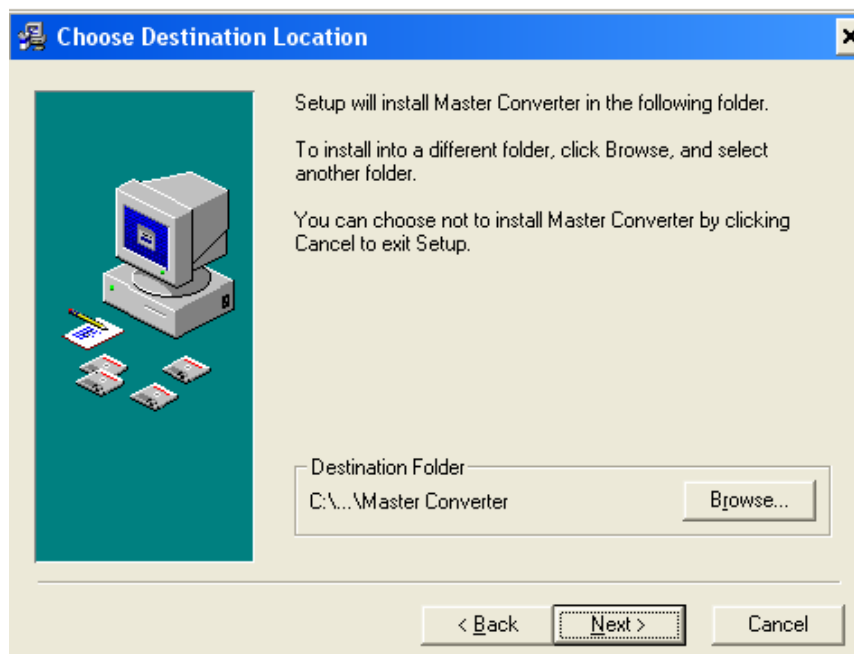
Entonces empezará a buscar componentes en su computador.

Aparecerá el cuadro de bienvenida a la instalación del Master Converter, clic en siguiente. (NEXT)



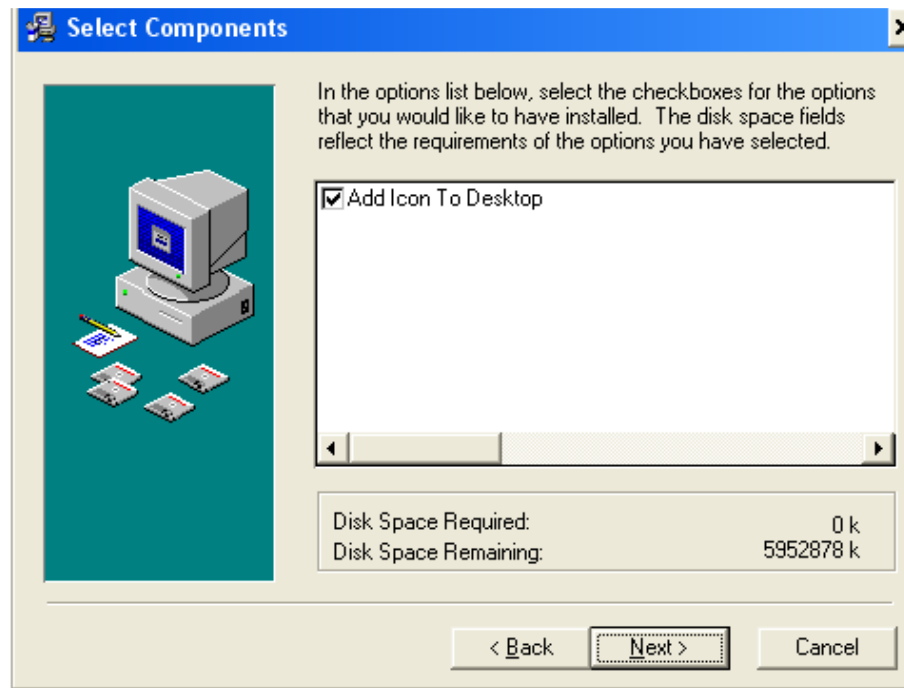
**Figura 4. 15. Microsoft .NET 2**

Posteriormente, se menciona el cuadro de dirección de instalación, por defecto en la unidad C:\...\Master Converter; (necesariamente), que debe ser aquella por la configuración del sistema *microLORF*, siguiente. (NEXT).



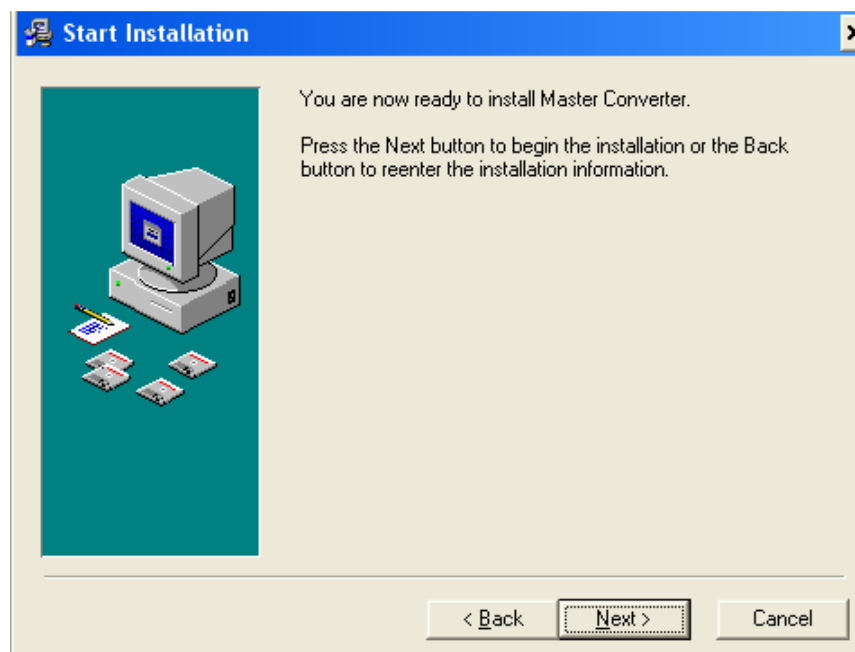
**Figura 4. 16. Microsoft .NET 3**

En la selección de componentes, igual, siguiente, (NEXT).



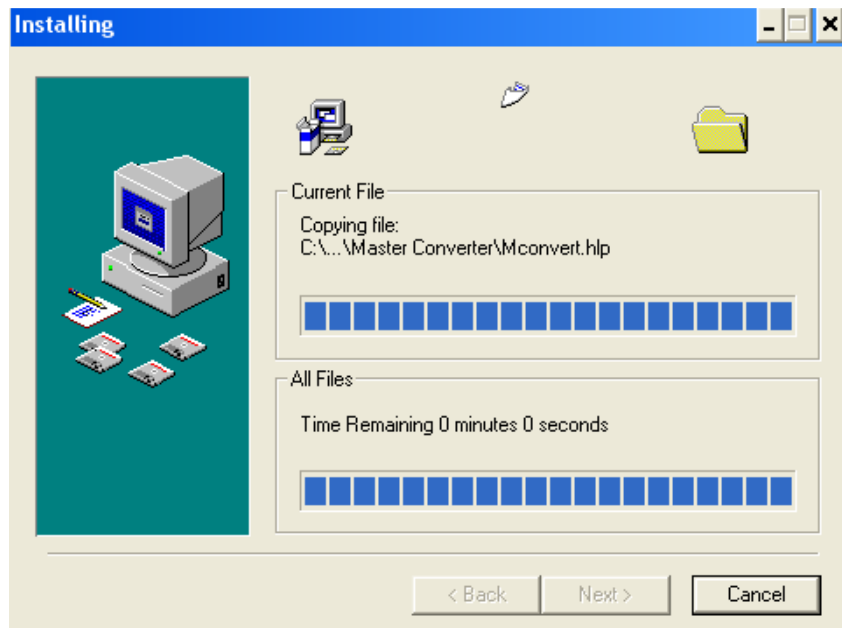
**Figura 4. 17. Microsoft .NET 4**

Entonces se da inicio a la instalación, (NEXT).



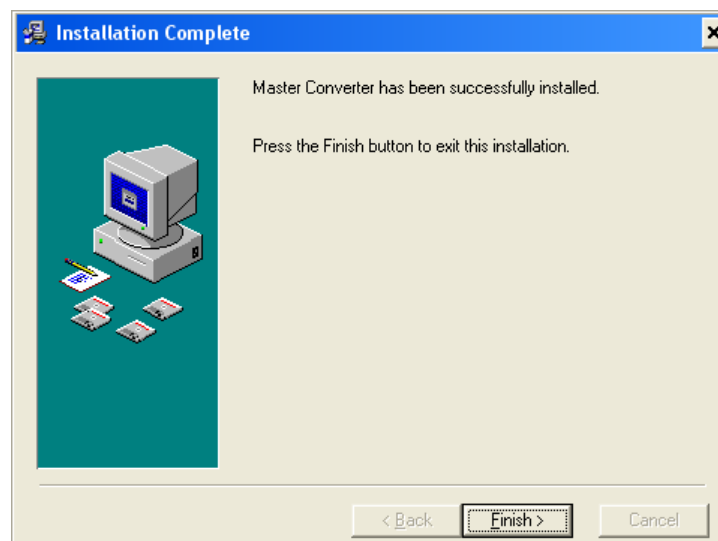
**Figura 4. 18. Microsoft .NET 5**

Progreso de instalación.



**Figura 4. 19. Microsoft .NET 6**

Culminación de instalación, clic en finalizar, (FINISH >)



**Figura 4. 20. Microsoft .NET 7**

Al concluir la instalación del Master Converter, aparecerá el ícono correspondiente en el escritorio.



**Figura 4. 21. Microsoft .NET 8**

Hacer doble clic sobre el ícono, aparecerá un cuadro de diálogo de registro, que hay que llenar con un serial que se encuentra en un documento de texto adjunto en la carpeta de instalación del Master Converter. Clic en “Enter My Registration Code”.

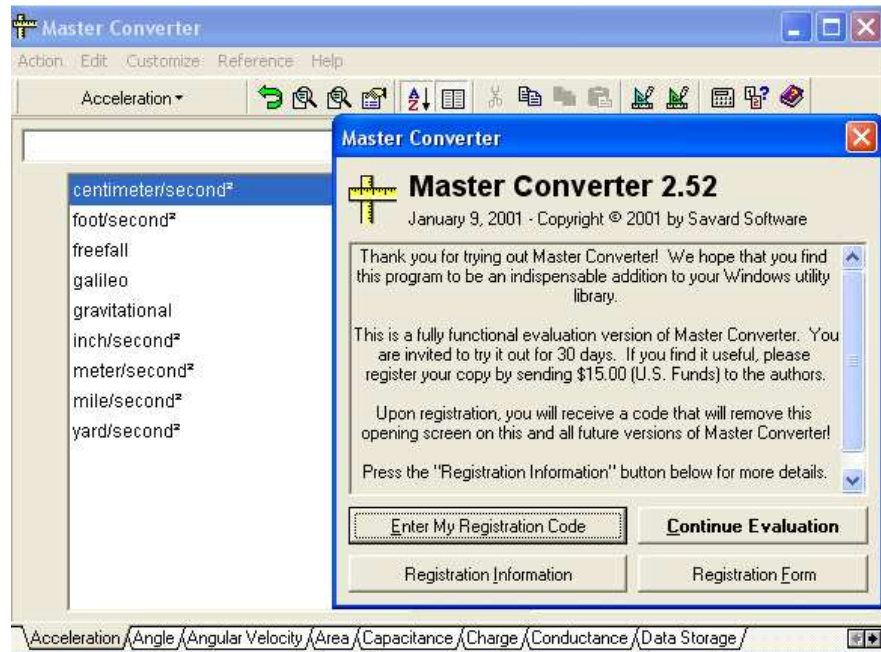
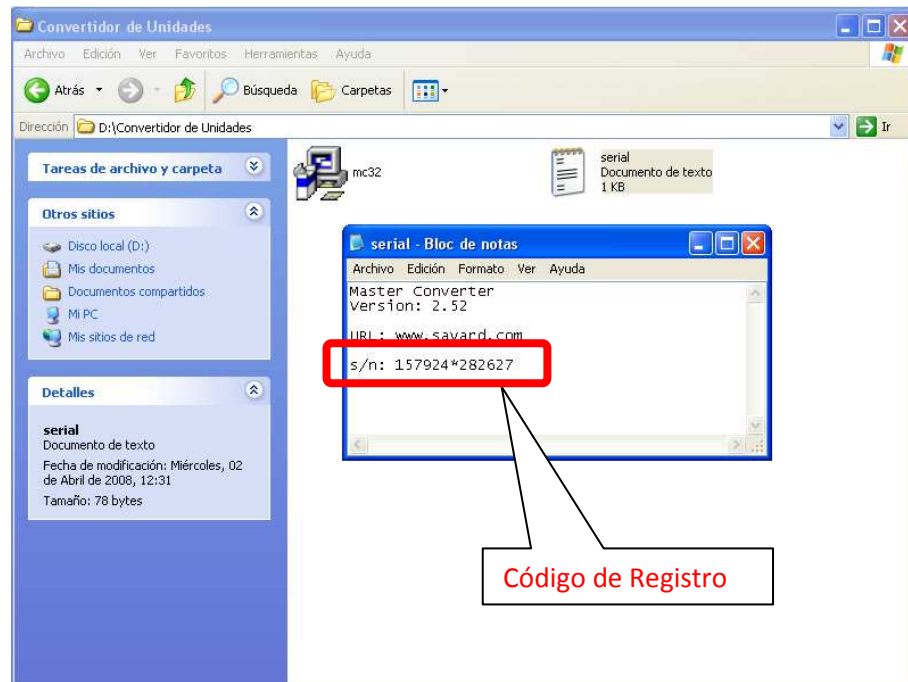
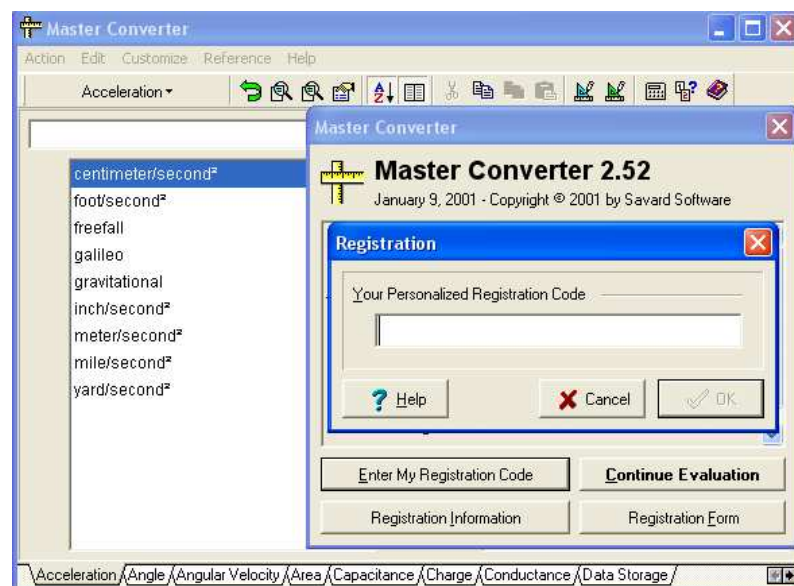


Figura 4. 22. Microsoft .NET 8





**Figura 4. 23. Microsoft .NET 9**



**Figura 4. 24. Microsoft .NET 10**

Copiar el serial y pegar en el espacio indicado, luego OK, Aceptar, y listo....Puede usar Master Converter!!

### 7.11.3.3 Ejecución del sistema A.P.U.

El sistema A.P.U, es una aplicación que no necesita de instalación, es un ejecutable.

Su ejecución se realiza dentro del aplicativo mismo.

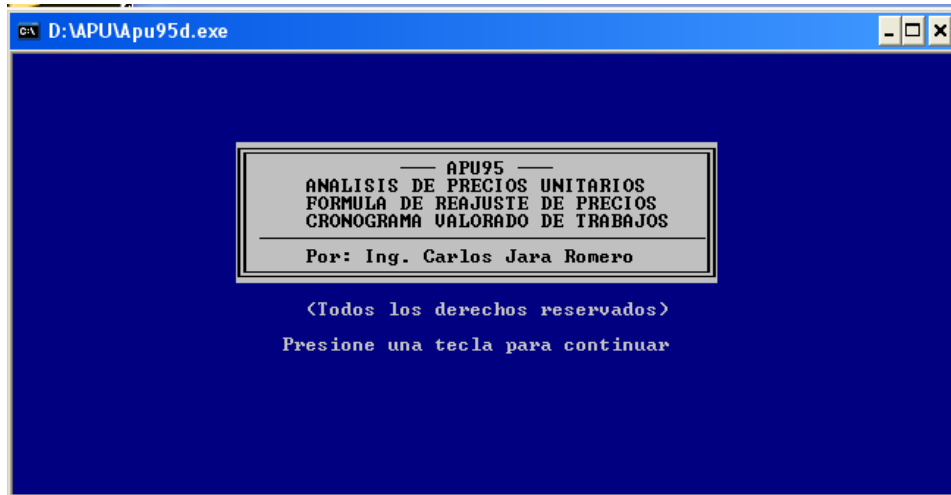


Figura 4. 25. APU

### 7.11.3.4 Instalación del SKF.


Hacer doble clic sobre el ícono  SETUP.EXE dentro de la carpeta SKF, aparecerá:



Figura 4. 26. SKF

Donde deberá llenar la dirección de destino a instalar: por defecto para poder aplicar con *microLORF*, clic en “FULL” se visualizará el progreso de instalación:

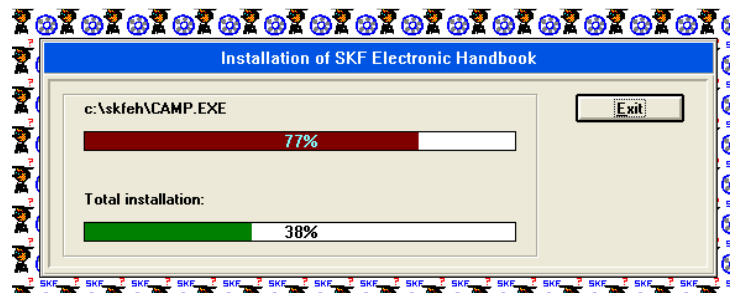


Figura 4. 27. SFK 2



Figura 4. 28. SFK 3



Figura 4. 29. SFK 4



Figura 4. 30. SFK 5



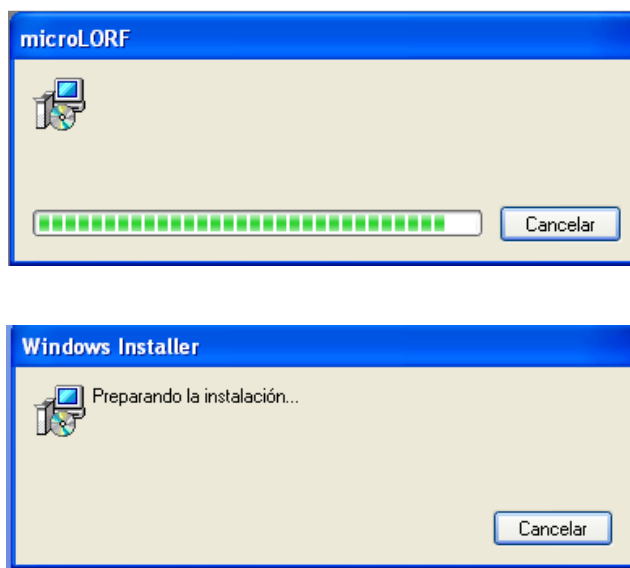
Finalmente ya puede usar el aplicativo SKF para la selección de rodamientos.

#### 7.11.3.5 Instalación del sistema microLORF v1.0

En el disco del instalador del Sistema microLORF v1.0, se hallará unos íconos:

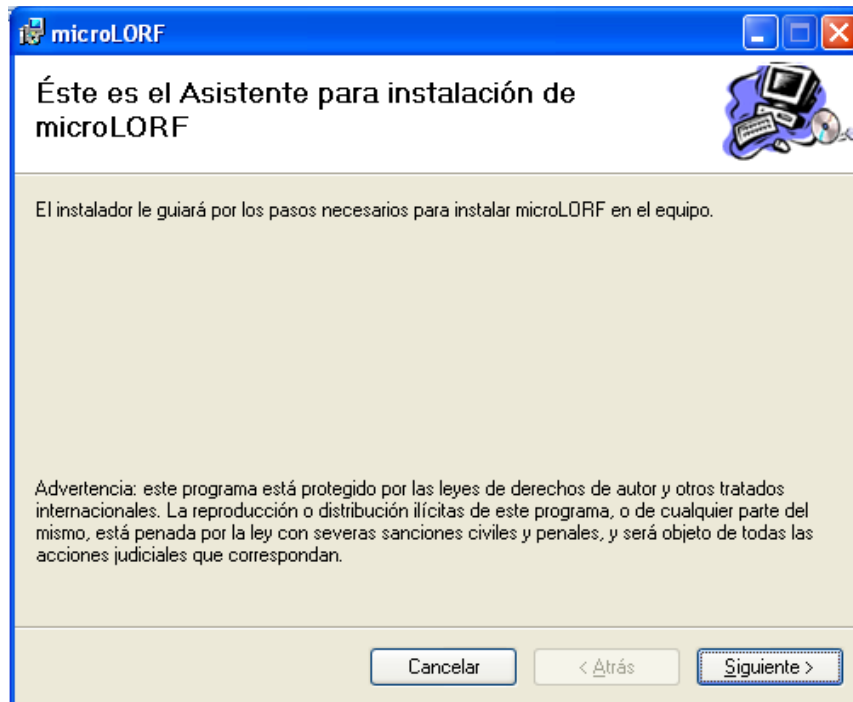


Donde deberá acceder a cualquiera de ellos y se presentará la pantalla de preparación para la instalación del Sistema microLORF:



**Figura 4. 31. microLORF v1.0\_T1**

Luego se presenta la pantalla de bienvenida a la instalación al sistema microLORF, leer y hacer clic en “Siguiente”.



**Figura 4. 32. microLORF v1.0\_T2**

Posteriormente la pantalla del usuario, donde se deberán llenar los datos correspondientes, “Siguiete”

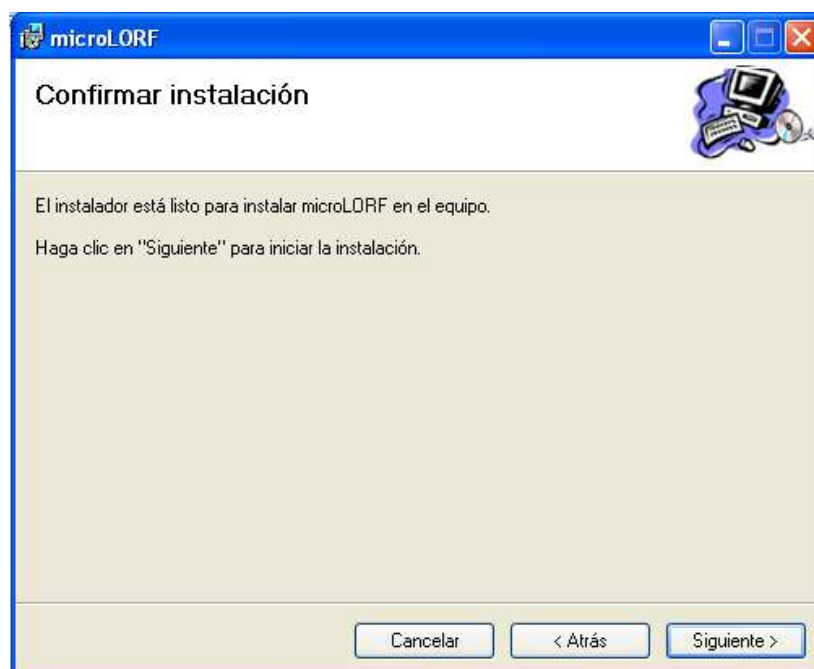
**Figura 4. 33. microLORF v1.0\_T3**

Seleccionar la dirección de instalación, por defecto en C:\Archivos de programa\ESPOCH\microLORF\, deberá ser instalada la aplicación, “Siguiente”



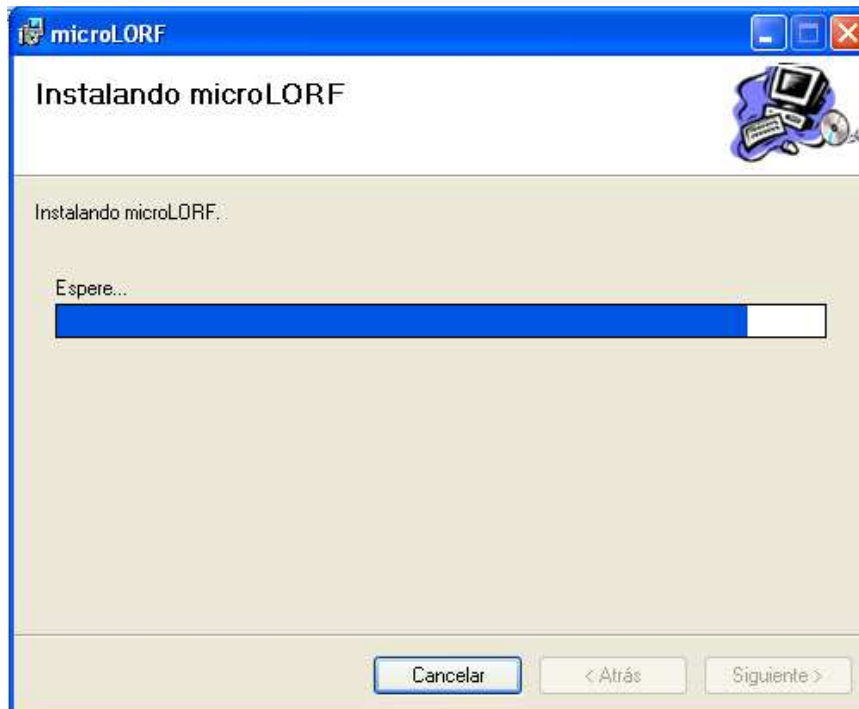
**Figura 4. 34.microLORF v1.0\_T4**

Confirmación de la instalación, “Siguiente”



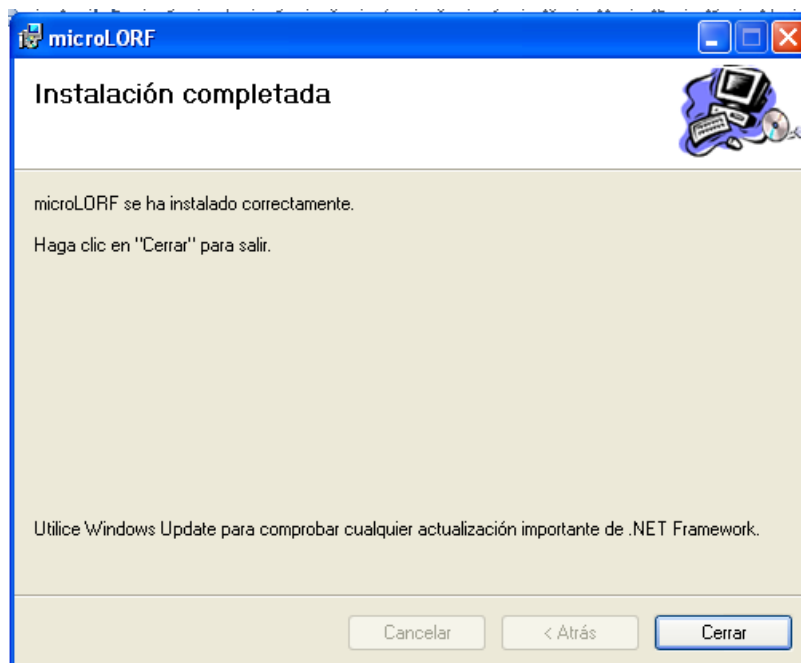
**Figura 4. 35. microLORF v1.0\_T5**

Progreso de la instalación.



**Figura 4. 36. microLORF v1.0\_T6**

Culminación de la instalación, "Siguiente"

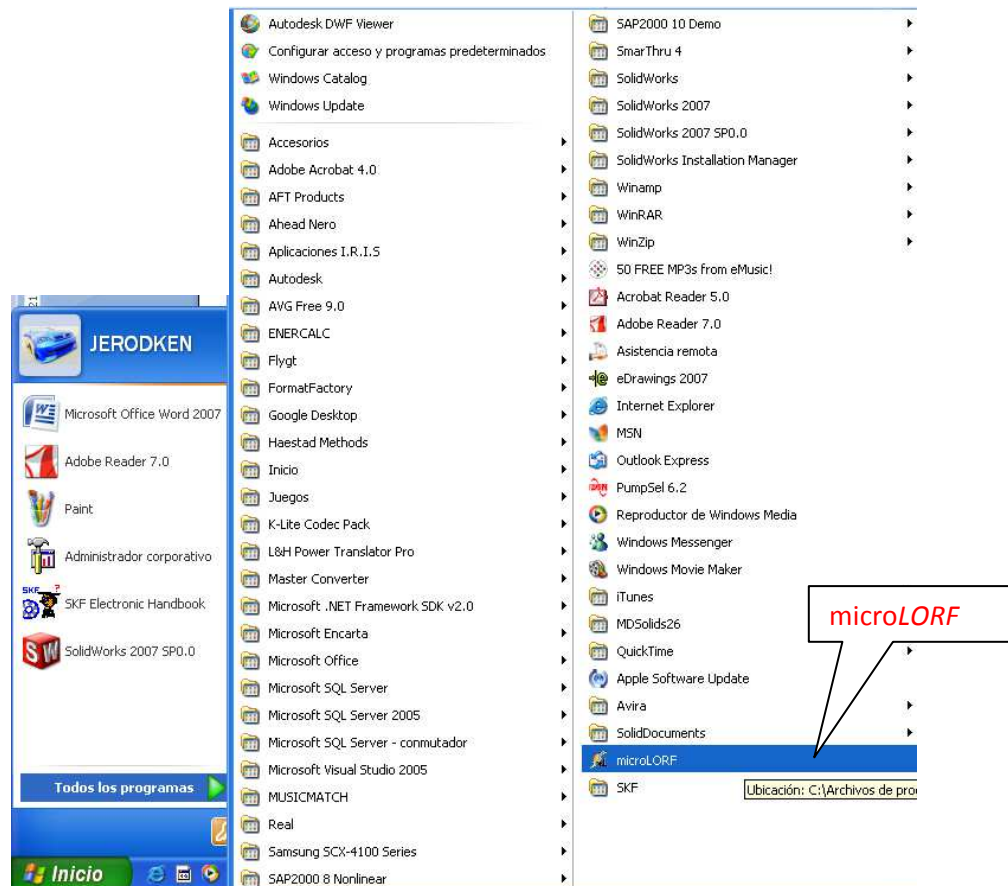


**Figura 4. 37. microLORF v1.0\_T8**

Una vez en “Cerrar”, y haber instalado las aplicaciones anteriores, podrá hacer uso de *microLORF*.!!!!



Para acceder al él, puede hacer clic sobre el ícono *microLORF* sobre el escritorio o inicio -> Todos los Programas -> *microLORF*:



**Figura 4. 38. microLORF v1.0\_T9**



## 7.12 Manual del usuario.

### 7.12.1 Introducción.

#### ¿Que puede hacer con microLORF v1.0?

Mediante microLORF v1.0 se puede hacer elementalmente el diseño de micro centrales de hasta 10 MW, partiendo desde la obra civil correspondiente desde la captación.

Una vez instalada la aplicación y sus correspondientes componentes ya es posible realizar diseños en éste; es así que se dará a continuación una guía básica para poder manejar el software microLORF.

### 7.12.2 Barra de menú y de tareas.

La barra de Menú y Tareas o Herramientas es sin duda una de los instrumentos más útiles para el manejo de software. Utilizada en todas las pantallas del sistema, esta barra brinda importante funcionalidad e información al momento de tratar con las funciones del sistema. Como su nombre lo indica, la barra se divide en tres secciones: la Sección de Archivo, la Sección de Complementos y Configuración, finalmente sección de Ayuda.

El ambiente de trabajo inicializado se muestra:

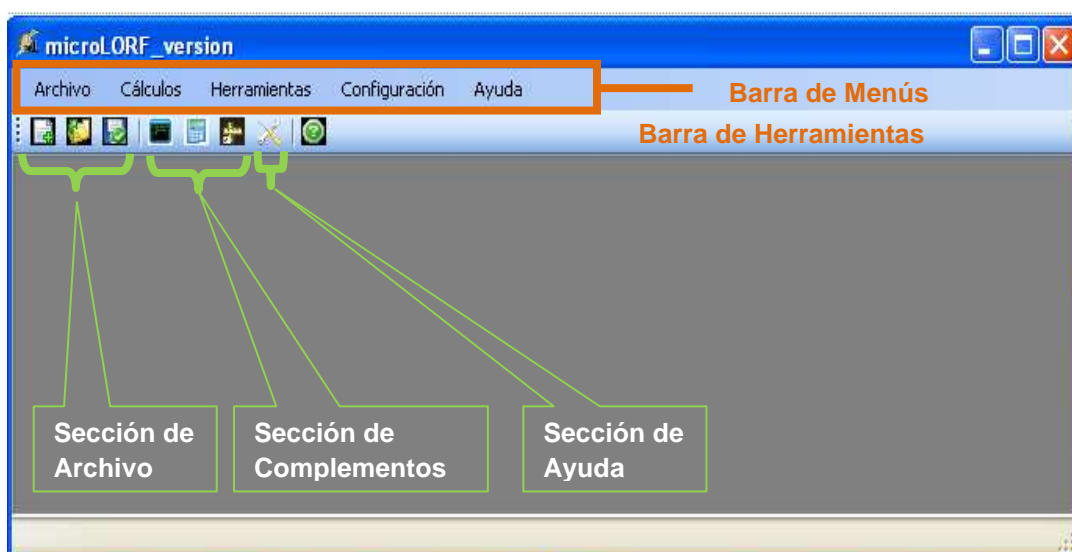


Figura 4. 39. microLORF v1.0\_T10

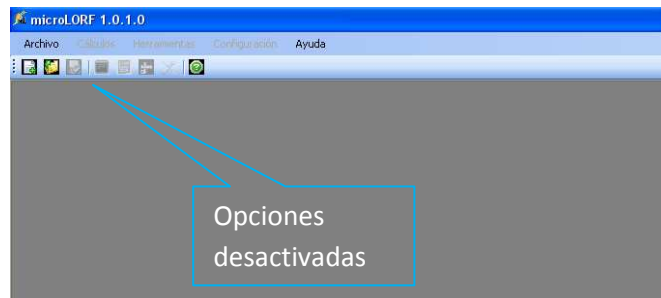
A continuación se describen sus funciones:

**Tabla 4. 2. Alcance del programa microLORF v1.0.**

Sección de Archivos		
Ícono	Nombre	Descripción
	<b>Nuevo Proyecto</b>	Permite crear un nuevo proyecto.
	<b>Abrir Proyecto</b>	Permite abrir un proyecto de extensión “.lorf”
	<b>Guardar Proyecto</b>	Envía y almacena los cambios hacia una base de datos.
Sección de Complementos		
Ícono	Nombre	Descripción
	<b>A.P.U.</b>	Permite sacar costos unitarios del proyecto.
	<b>Calculadora</b>	Permite abrir la calculadora del sistema operativo utilizado.
	<b>Master Converter</b>	Permite abrir la aplicación para conversión del sistema de unidades.
	<b>Configuración</b>	Permite realizar la configuración inicial del ambiente de trabajo.
Sección de Ayuda		
Ícono	Nombre	Descripción
	<b>Ayuda</b>	Permite mostrar las ayudas correspondientes del sistema.


### 7.12.3 Crear nuevo proyecto.

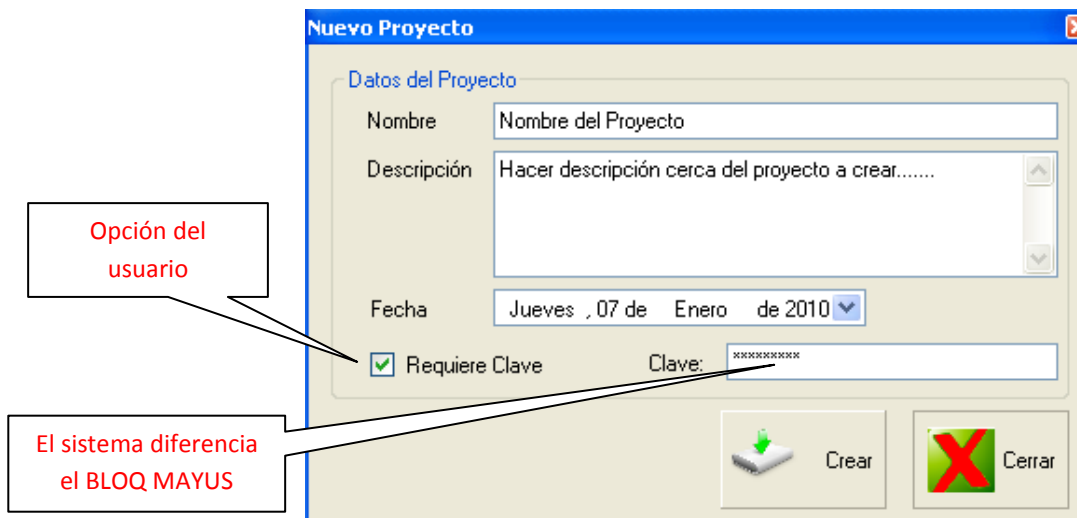
El ambiente inicial de trabajo en la aplicación se muestra:



**Figura 4. 40. Tutorial A1**

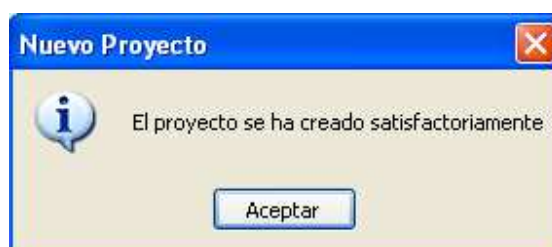
Para crear un nuevo proyecto, se hace clic en la barra de Menús: Archivo > Nuevo proyecto.

O sobre la barra de herramientas en el ícono  y aparecerá:



**Figura 4. 41. Tutorial A2**

Donde es necesario llenar los parámetros que allí se describen. Una opción que brinda la aplicación *microLORF* al momento de la creación de un nuevo proyecto es de crear una clave para mantener mayor seguridad y restricción sobre la información a contener.



**Figura 4. 42. Tutorial A3**


Luego de la confirmación, se podrá observar la habilitación de los elementos del sistema:

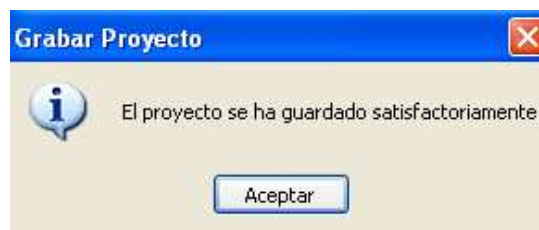
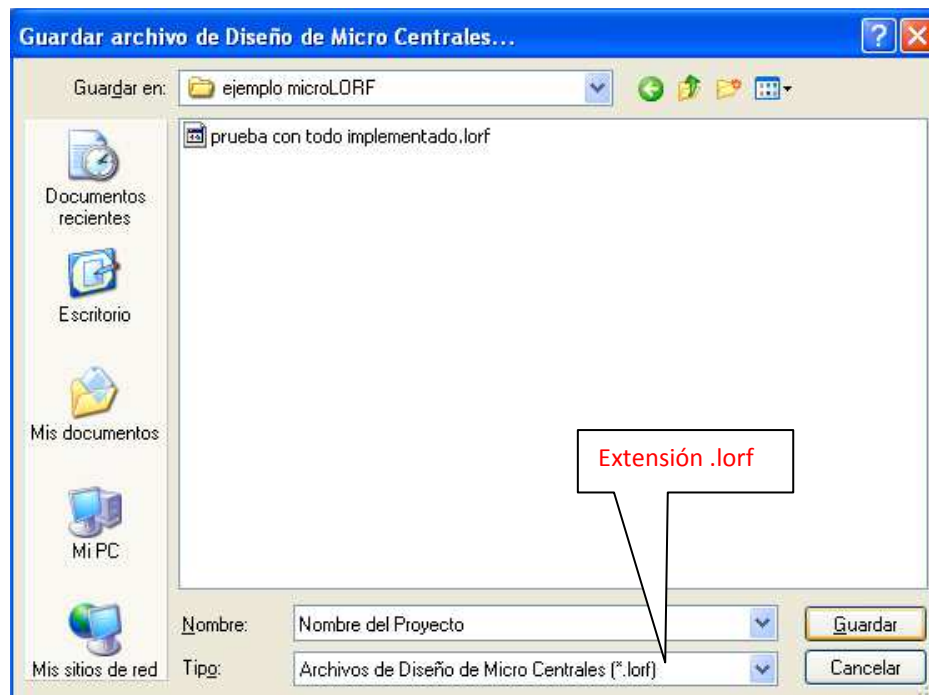


**Figura 4. 43. Tutorial A4**

#### **7.12.4 Guardar proyecto.**

Para guardar el nuevo proyecto, se hace clic en la barra de Menús: Archivo > Guardar Proyecto, o

sobre la barra de herramientas en el ícono  y aparecerá:



**Figura 4. 44. Tutorial A5**

#### 7.12.5 Cultura del sistema *microLORF v1.0*

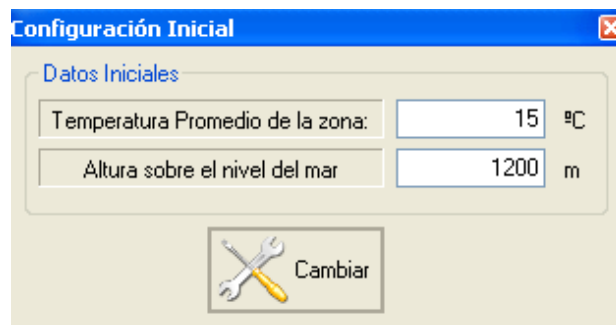
La cultura en una aplicación, en este caso numérica es la definición del tipo de caracteres numéricos que el sistema reconoce y realizar los cálculos sin errores. El sistema está desarrollado bajo una cultura en INGLES, por lo tanto se deberá trabajar con puntos (.).

### 7.12.6 Configuración inicial dentro de la aplicación para condiciones ambientales.

La configuración inicial es necesaria para definir las propiedades del agua que se encuentra en el sector del proyecto y poder realizar el diseño de las turbinas considerando sus características. Para aquello es necesario conocer la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura promedio de la zona en estudio.

Para hacer la configuración inicial del proyecto, se hace clic en la barra de Menús: Configuración >

General, o sobre la barra de herramientas en el ícono  y aparecerá:

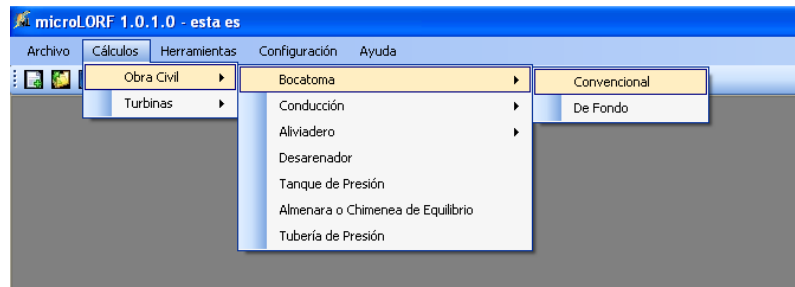


La imagen muestra una ventana de software titulada "Configuración Inicial". Dentro de la ventana, hay una sección titulada "Datos Iniciales" que contiene dos campos de entrada: "Temperatura Promedio de la zona:" con el valor "15" y la unidad "°C", y "Altura sobre el nivel del mar" con el valor "1200" y la unidad "m". Debajo de estos campos, hay un botón con un ícono de llave inglesa y destornillador, etiquetado como "Cambiar".

**Figura 4. 45.Tutorial A7**

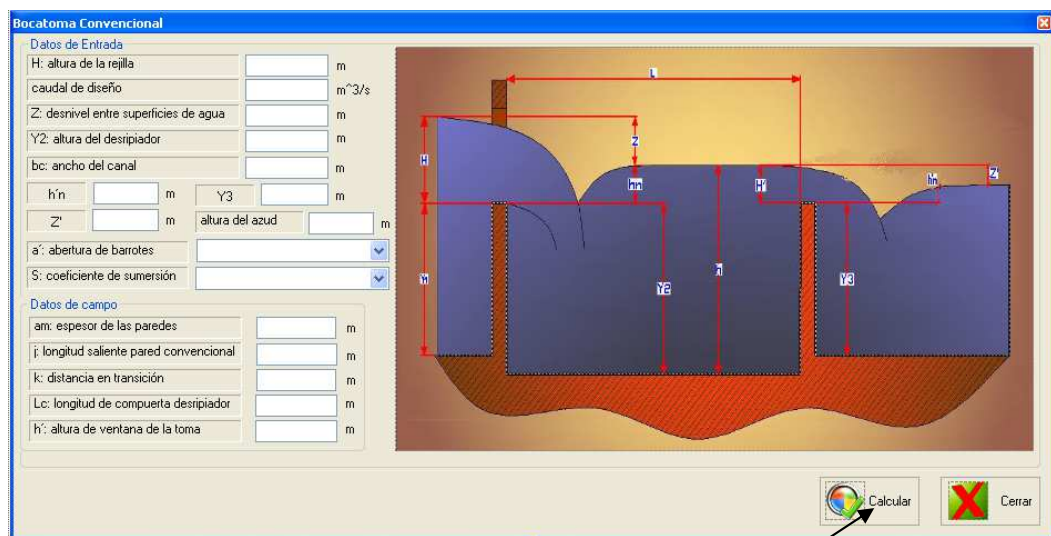
Por defecto se tiene los valores mostrados, sin embargo al cambiar y al hacer clic sobre “Cambiar”, internamente se efectuarán variaciones.

Para el primer cálculo del diseño de obras civiles se parte de la bocatoma, que depende de la magnitud del proyecto si es diseño de la bocatoma convencional o de fondo (rejilla). Para acceder al mismo hay que dirigirse a la barra de menú > cálculos > obra civil > bocatoma > convencional como se muestra en la gráfica.



**Figura 4. 46. Tutorial A8**

Luego de esto aparece otra ventana de dialogo en donde se especifica algunos datos de la bocatoma convencional



**Figura 4. 47. Tutorial A9**

Una vez llenado todos los datos se manda a calcular.

A continuación visualiza los resultados de la bocatoma convencional.

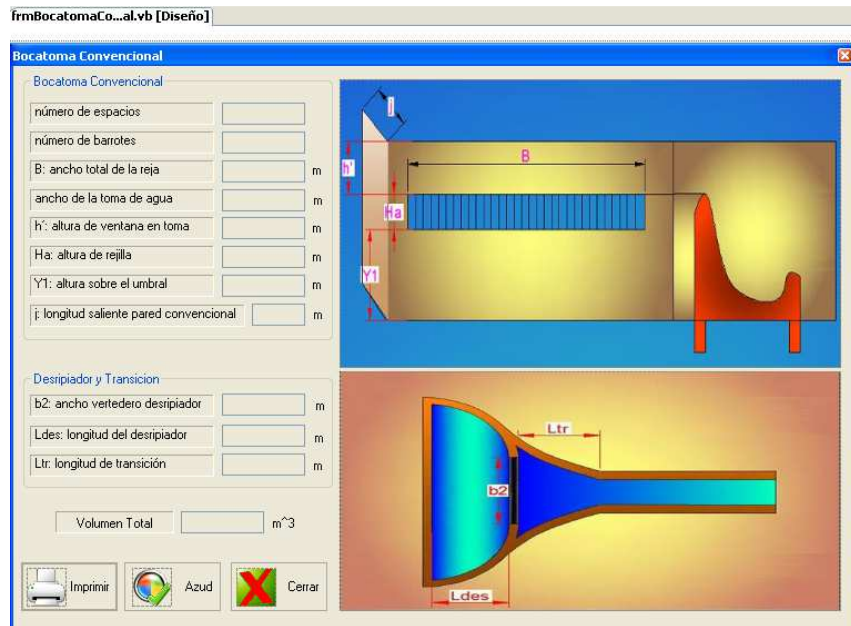


Figura 4. 48. Tutorial A10

Aparecen tres opciones que son imprimir, azul y cerrar, escogiendo la primera nos visualiza una página lista para la impresión.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
<b>Bocatoma Convencional:</b>			
Es la obra civil que permite captación del agua, de forma controlada, además impide que manzanas de agua se escapen por la entrada de material sólido, lo tanto, que es le circular por el río y satisfacer las condiciones de seguridad necesarias para su normal funcionamiento de toma de agua.			
Ha: Altura de la rejilla:	1.00 m	K: Distancia de transición:	1.00 m
Caudal de diseño:	1.00 m³/s	Longitud compuerta de desplazador:	1.00 m
Z: De nivel superior de agua:	1.00 m	h: Altura ventana de toma:	1.00 m
Y2: Altura de desplazador:	1.00 m	Número de espacios:	22.00
b0: Ancho del canal:	1.00 m	Número de barrotes:	21.00
h'a:	1.00 m	B: Ancho total de la reja:	0.82 m
Y8:	1.00 m	Y1: Altura del umbral:	0.00 m
Z':	1.00 m	j: Longitud saliente de pared:	1.00 m
Altura de Azul:	1.00 m	b2: Ancho vertedero de desplazador:	0.14 m
Abertura barrotes: $w = 2 \text{ cm}$ ; $\alpha = 34^\circ$		Lde: Longitud de desplazador:	0.86 m
Coefficiente de fricción:	VILLAMONTE	Ltr: Longitud de transición:	1.94 m
am: Espesor de la pared:	1.00 m	Volumen total:	15.22 m³
b1: Ancho de toma de agua:	0.43 m		
<b>Desplazador:</b>			
Es la obra civil encargada de captar en su totalidad los sólidos de tamaño considerable que afectan a las turbinas, sobre todo a la turbina de generación.			
microllo R1 v1.01 ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA 18-Jan-2010			

Figura 4. 49. Tutorial A10

La segunda opción traslada el cálculo al diseño del azul.



frmAzud.vb [Diseño]

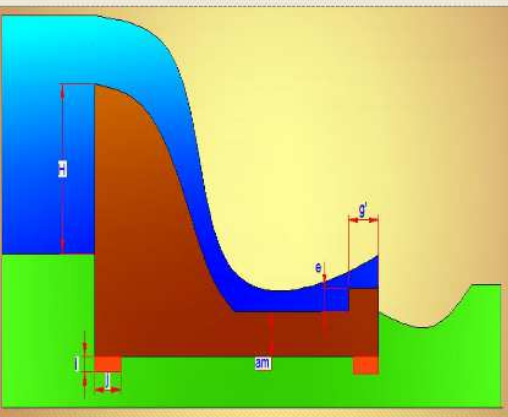
**Diseño del Azud**

Datos de Entrada

Caudal del Río	Avenida		$\text{m}^3/\text{s}$
	Estiaje		$\text{m}^3/\text{s}$
Velocidad de acercamiento del río			$\text{m}/\text{s}$
Ancho local del río			$\text{m}$
Caudal de Diseño			$\text{m}^3/\text{s}$
H: Altura Azud			$\text{m}$
$\Delta h_d$ : Dentellón			$\text{m}$
Diámetro de Partícula en Lecho de Río			$\text{m}$
Factor de Roca			

Datos en el campo

am: espesor de las paredes		(0.1 - 0.2) m
g': ancho del dentellón		$\text{m}$
i: altura de apoyos		$\text{m}$
j: longitud de apoyo		$\text{m}$



Calcular Cerrar

**Figura 4. 50. Tutorial A11**

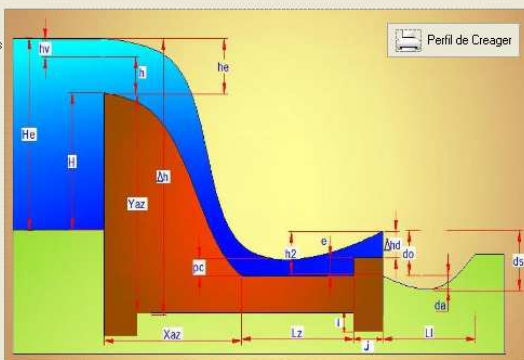
La siguiente imagen ilustra los resultados del diseño del azud y se manda a imprimir.

frmAzudResultado.vb [Diseño]

**Resultados del Diseño de Azud**

Resultados

h: altura de carga hidráulica		$\text{m}$
V: velocidad sobre cresta del Azud		$\text{m}/\text{s}$
he: carga energética		$\text{m}$
He: altura total de agua		$\text{m}$
h1: espesor al Pie del Azud		$\text{m}$
h2: profundidad cuenca aguas abajo		$\text{m}$
e: altura de zampeado		$\text{m}$
Lz: longitud de zampeado		$\text{m}$
pc: profundidad del colchón		$\text{m}$
Dm: diámetro medio del material		$\text{m}$
ds: profundidad de protección aguas abajo		$\text{m}$
LL: longitud de protección		$\text{m}$
da		$\text{m}$
do		$\text{m}$
Yaz		$\text{m}$
Xaz		$\text{m}$
a		
b		
c		
nd		
nvoleo		



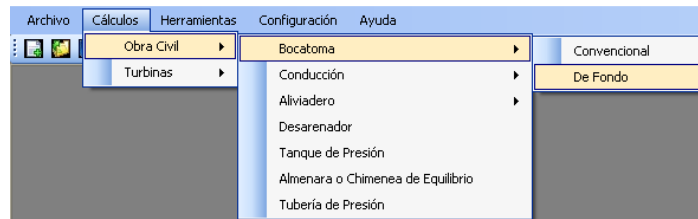
Volumen del Azud  $\text{m}^3$

Imprimir Cerrar

**Figura 4. 51. Tutorial A12**

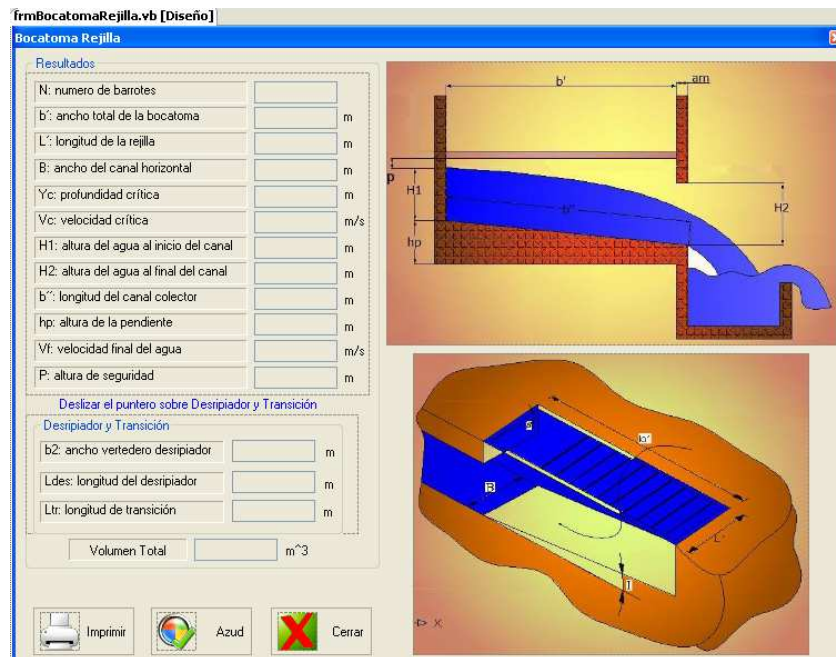
La segunda opción de bocatoma es la de fondo o rejilla para ello se ingresa de la siguiente manera.

En la barra de menú se ingresa en cálculo > Obra Civil > Bocatoma > De Fondo.



**Figura 4. 52. Tutorial A13**

Y aparece la siguiente ventana de datos necesarios para el diseño de esta bocatoma.



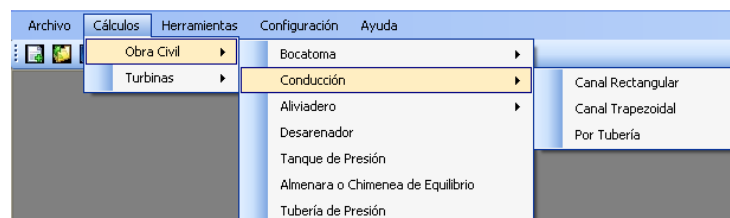
**Figura 4. 53. Tutorial A14**

En la parte inferior de la pantalla se escoge la opción de Azud que sirve para el diseño del mismo.

**Figura 4. 54. Tutorial A15**

Aparecen los casilleros blancos donde se ingresa los datos posteriormente se manda a calcular y en la parte derecha aparece los resultados.

La siguiente parte de diseño es la conducción en donde se presenta tres opciones que son conducción por canal rectangular o trapezoidal y conducción por tubería.



**Figura 4. 55. Tutorial A16**



La primera opción es del diseño del canal rectangular y nos presenta el siguiente ambiente de trabajo.

frmCanal.vb [Diseño]

**Diseño de Canal de Conducción Trapezoidal**

Datos de Entrada

caudal de diseño	<input type="text"/>	m <sup>3</sup> /s
velocidad en el canal	<input type="text"/>	(0.5 - 2) m/s
longitud del canal	<input type="text"/>	m
Pendiente del canal	<input type="text"/>	%
am: espesor de las paredes	<input type="text"/>	(0.1 - 0.2) m
<input checked="" type="radio"/> Tipo de Suelo	<input type="text"/>	
<input type="radio"/> Tipo de Revestimiento	<input type="text"/>	
Material del cauce	<input type="text"/>	

 Calcular
  Cerrar

**Figura 4. 56. Tutorial A12**

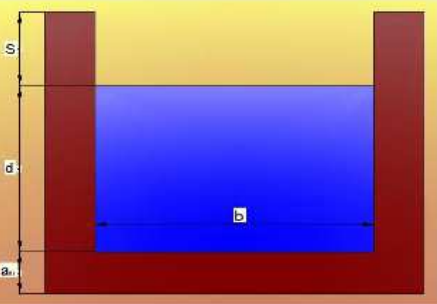
Se ingresa los datos en los casilleros en blanco y se manda a calcular.

Y presenta los resultados del canal de la siguiente manera.



**Canal de Conducción Rectangular**

Resultados

área mojada	<input type="text" value="1.2"/>	m <sup>2</sup>
perímetro mojado	3.0983866769	m
radio hidráulico	0.3872983346	m
S: altura de seguridad	0.2323790007	m
desnivel del canal	0.0099995000	m
d:	0.7745966692	m
b:	1.5491933384	m
Volumen de concreto	0	m <sup>3</sup>
Volumen de excavación	1.56	m <sup>3</sup>



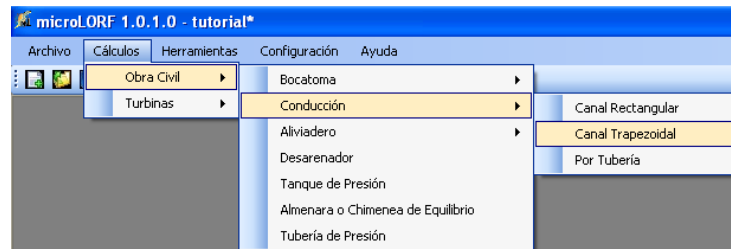
Por Favor aumentar Velocidad en el canal:

 Imprimir
  Cerrar

**Figura 4. 57. Tutorial A13**

En la parte inferior de la pantalla aparece un mensaje de “por favor aumentar la velocidad en el canal” el mismo que sale ya que los datos fueron tomados al azar.

Para el canal trapezoidal se trabaja de la misma manera que el canal rectangular a inicio se ingresa de la siguiente manera.



**Figura 4. 58. Tutorial A16**

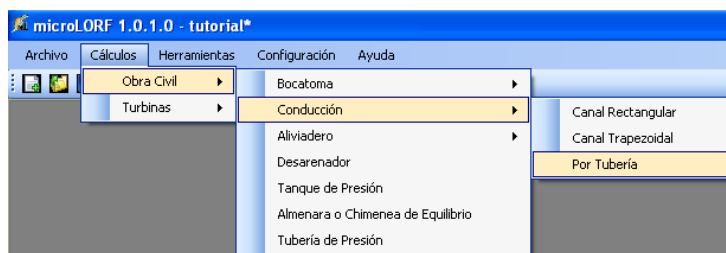
A continuación aparece una ventana en donde se ingresa los datos de entrada de este tipo de canal.

**Figura 4. 59. Tutorial A18**

Se aplasta el botón de calcular y se proyecta los resultados en la siguiente ventana.

**Figura 4. 60. Tutorial A19**

El otro tipo de conducción es la de tubería, se ingresa de la misma manera que las anteriores a través de: cálculos > obra civil > conducción > por tubería .Como muestra la siguiente figura.



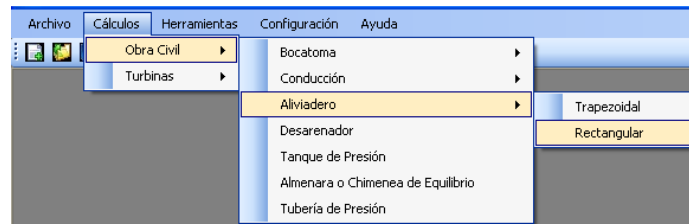
**Figura 4. 61. Tutorial A18**

Se escoge Por Tubería y aparece la siguiente caja de dialogo, en la cual no se muestra el material ya que internamente el programa selecciona tubería de PVC, es decir para la conducción se escoge este material por cuestiones económicas y de fácil transporte.

**Figura 4. 62. Tutorial A19**

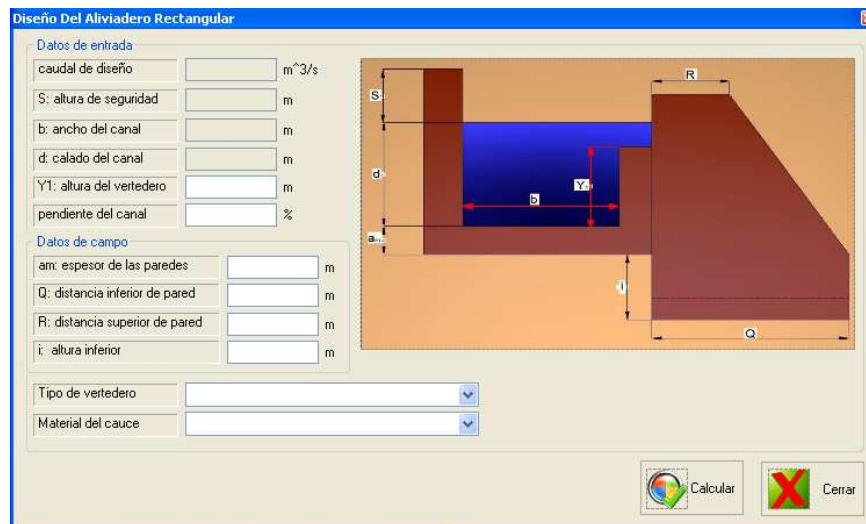
En la parte inferior de esta ventana aparecen los resultados, luego de seleccionar el botón que dice calcular posteriormente se manda a imprimir el documento y se termina con la conducción.

Luego del diseño de la conducción llegamos al cálculo del vertedero, en este programa se tiene dos opciones que van de acuerdo a la conducción por canal, y son vertederos rectangulares y vertederos trapezoidales, la primera opción se entra mediante Cálculos > Obra Civil > Aliviadero; se escoge el aliviadero según el tipo de canal escogido con anterioridad.



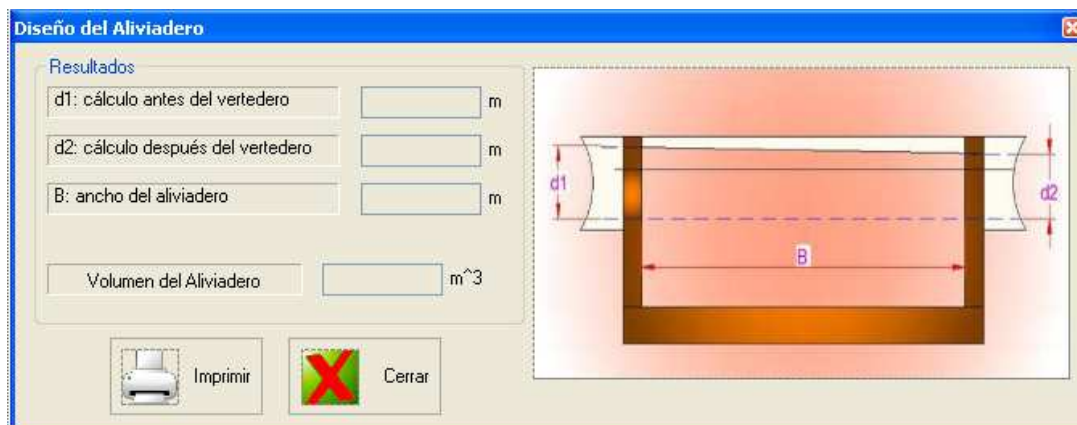
**Figura 4. 63. Tutorial A20**

Una vez seleccionado el aliviadero rectangular aparece la siguiente ventana de dialogo.



**Figura 4. 64. Tutorial A21**

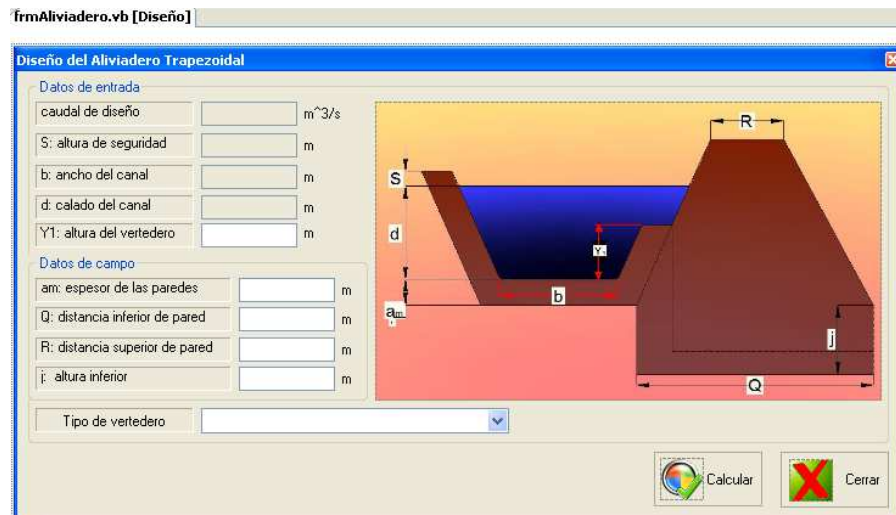
En donde se llena los casilleros en blanco y se aplasta el botón calcular, posteriormente aparece la siguiente ventana de resultados.



**Figura 4. 65. Tutorial A22**

Para el diseño de los aliviaderos trapezoidales se procede de la misma forma que para aliviaderos rectangulares, es decir se traslada el mouse hacia Cálculos > Obra Civil > Aliviadero > Trapezoidal, y se abre la ventana de ingreso de datos.

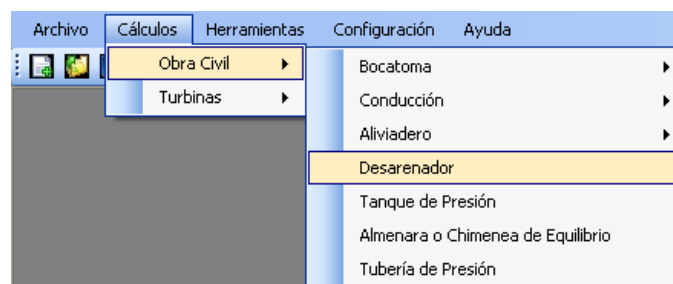




**Figura 4. 66. Tutorial A23**

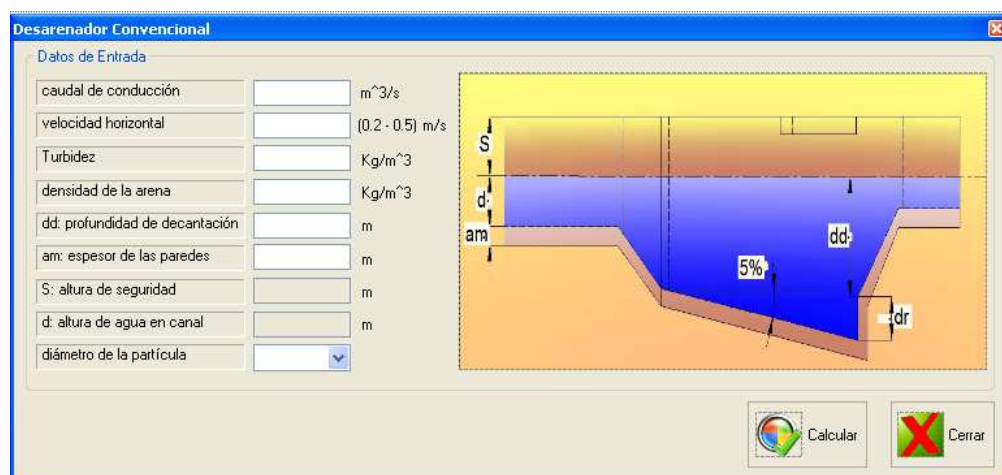
Y los resultados se muestran al igual que el vertedero rectangular.

Posteriormente se realiza el diseño del desarenador convencional para ello se ingresa como muestra en la figura siguiente.



**Figura 4. 67. Tutorial A24**

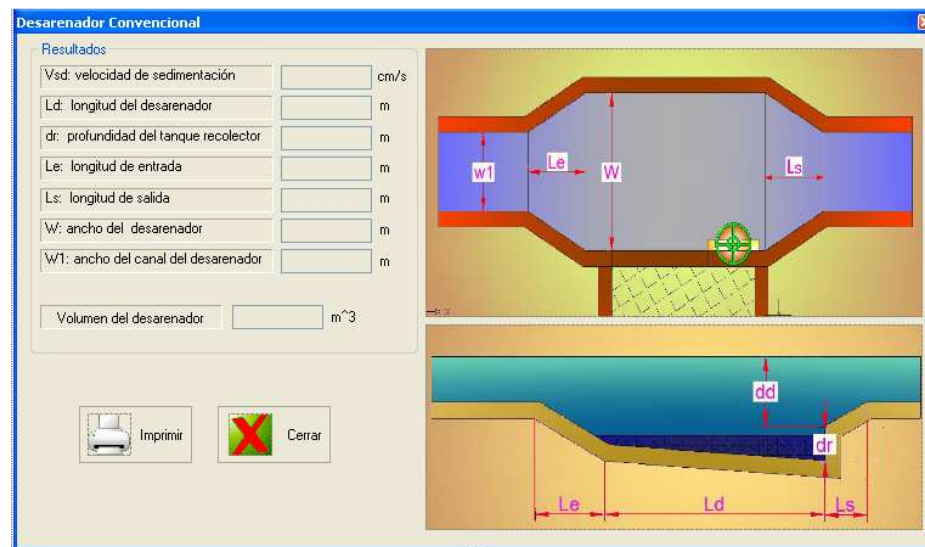
Una vez seleccionado Desarenador aparece una ventana en donde se ingresa los datos.



**Figura 4. 68. Tutorial A25**



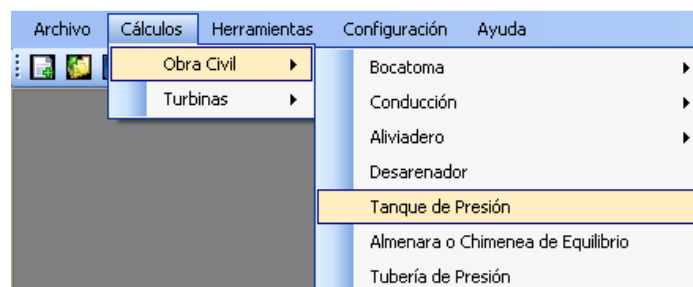
Se direcciona el mouse hacia el botón calcular y aparece la siguiente ventana de resultados.



**Figura 4. 69. Tutorial A26**

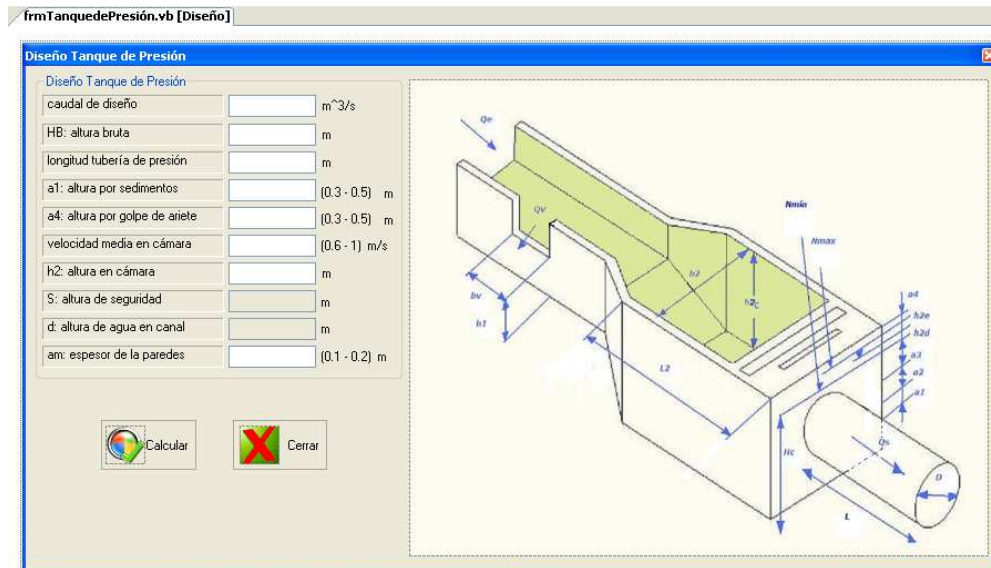
En este punto se manda a imprimir el reporte de resultados con el botón que lleva el mismo nombre.

Luego de diseñar el desarenador se realiza el cálculo del tanque de presión para ello se ingresa de la siguiente manera.



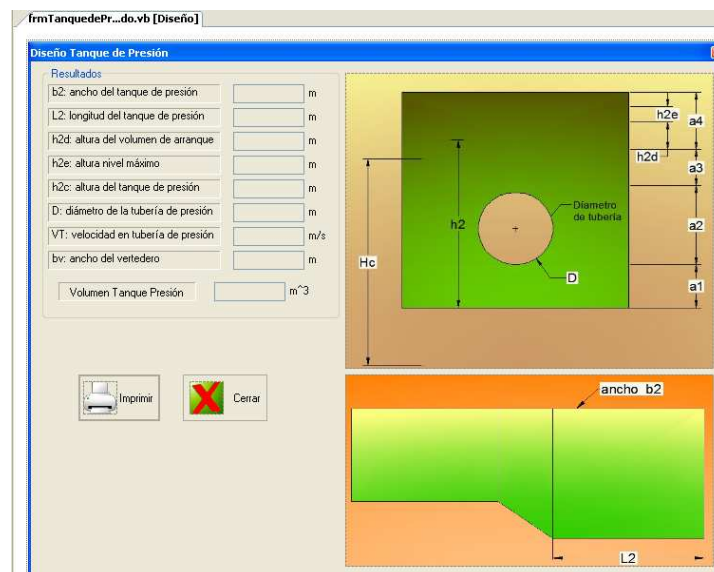
**Figura 4. 70. Tutorial A27**

Se hace clic izquierdo en Tanque de presión y aparece la siguiente ventana de dialogo en la cual se ingresa los datos iniciales para el diseño del tanque.



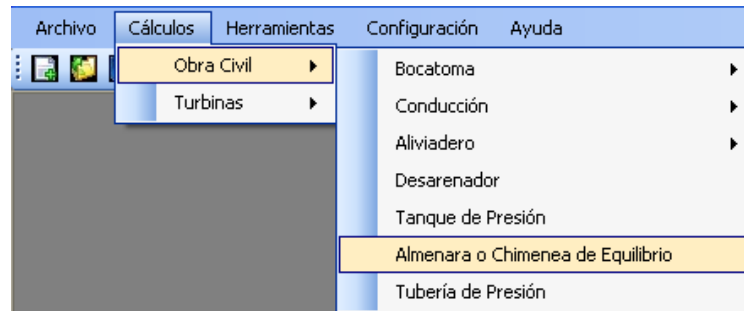
**Figura 4. 71. Tutorial A28**

Al igual que las anteriores aplicaciones se llena los casilleros en blanco y se manda a calcular los distintos parámetros del tanque, y aparece la siguiente figura.



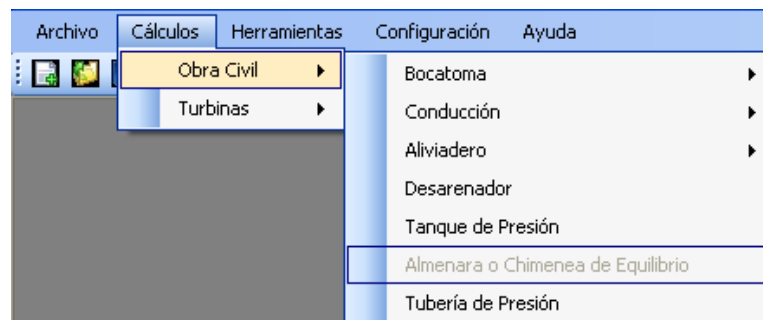
**Figura 4. 72. Tutorial A29**

Para el diseño de la almenara no siempre se va utilizar el software debido a que depende de una condición, internamente en el cálculo del tanque de presión se realiza la comparación, de necesitar la chimenea se habilitara ese icono así:



**Figura 4. 73. Tutorial A30**

Caso contrario no se habilitara la opción de Almenara o Chimenea de Equilibrio, como muestra la gráfica.



**Figura 4. 74. Tutorial A31**

De ser la condición verdadera aparece la siguiente caja de dialogo, en donde se ingresa los datos para el diseño.

frmAlmenara.vb [Diseño]

**Diseño de la Almenara o Chimenea de Equilibrio**



Diseño de la Almenara

caudal de diseño  m<sup>3</sup>/s

altura bruta  m

Dg: diámetro a la salida del tanque de presión  m

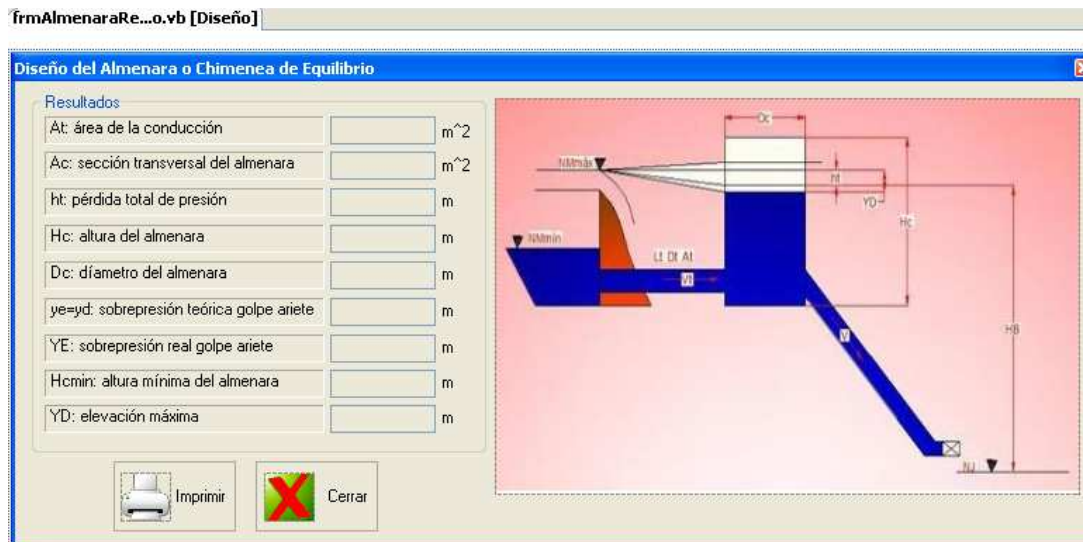
Lg: longitud de galería de conducción  m

 Calcular  Cerrar

**Figura 4. 75. Tutorial A32**

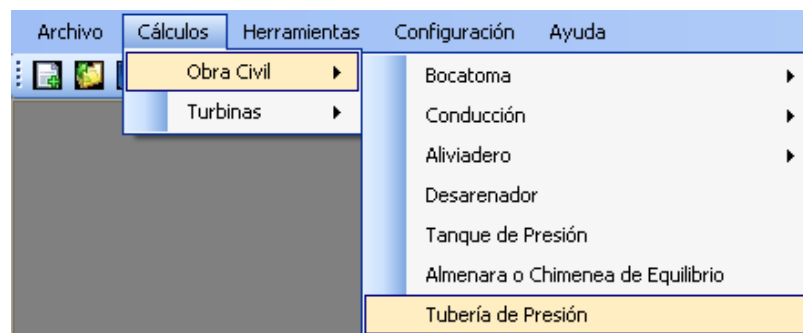
Y posteriormente aparece la ventana de resultado luego de haber elegido la opción de





**Figura 4. 76. Tutorial A33**

Finalmente se llega al diseño de la tubería de presión al igual que todos los cálculos anteriores se ingresa por Cálculos > Obra Civil > Tubería de Presión.



**Figura 4. 77. Tutorial A34**

Y posteriormente aparece la siguiente ventana en la cual se ingresa los datos de entrada para el cálculo.

**Figura 4. 78. Tutorial A35**

En la opción coeficiente de entrada de la tubería se aplasta el botón seleccionar y aparece la siguiente grafica en donde se escoge la entrada del tanque de presión a la tubería.

**Figura 4. 79. Tutorial A36**

A continuación se tiene el número de tramos, en el casillero blanco y luego se elige Generar, y según eso se crea el número de filas, es decir de tramos de la tubería, por ejemplo 3 tramos y se observa la construcción de las filas, Así.

**Tubería de Presión**

Datos de Entrada

Diámetro de Tubería de presión: 0 m

Altura de Caída Bruta: 100 m

Velocidad Tubería de Presión: NaN m/s

Coefficiente de Entrada de la Tubería: Seleccionar... 0.8

No. de Tramos: 3 Generar...

Nota: Los valores de inclinación permitidos son: 10°, 15°, 22.5°, 30°, 45°, 60°, 90°

Tramo	Inclinación	Longitud
1	0	0
2	0	0
3	0	0

Material de la Tubería: [dropdown]

Tipo de Válvula: [dropdown]

Temperatura Mínima de la Zona: °C

Temperatura Máxima de la Zona: °C

Ls: Longitud entre apoyos: <= 8 m

Calcular Cerrar

**Figura 4. 80. Tutorial A37**

Una vez llenado todos los casilleros se hace clic en Calcular, y aparece la siguiente ventana de resultados, que será la continuación para el cálculo de los apoyos.

**Sistema de Apoyos**

Resultados Tubería de Presión

pérdida en rejilla	m	tensión tangencial	Kg/cm <sup>2</sup>
pérdida en entrada	m	tensión longitudinal a temperatura	Kg/cm <sup>2</sup>
pérdida en los codos	m	tensión longitudinal a presión hidrostática	Kg/cm <sup>2</sup>
pérdida de fricción por el tubo	m	tensión por flexión	Kg/cm <sup>2</sup>
pérdidas en válvulas	m	tensión longitudinal por variación de pendiente	Kg/cm <sup>2</sup>
espesor de la tubería	mm	coeficiente de seguridad para longitud de apoyos	

Sistema de Apoyos

Tramo	Inclinación	Longitud	AnchoBloque

Tipo de suelo

☒ Roca granítica

☐ Arcilla dura

☐ Pedregal

☐ Roca calcárea o arenítica

Tensión de compresión: Kg/m<sup>2</sup>

Calcular Cerrar

Anclajes Imprimir

**Figura 4. 81. Tutorial A38**

En esta ventana se ingresa dimensiones de los apoyos, los mismos que deben cumplir con algunas condiciones, a continuación se manda a calcular, y aparece la ventana que esta a continuación.



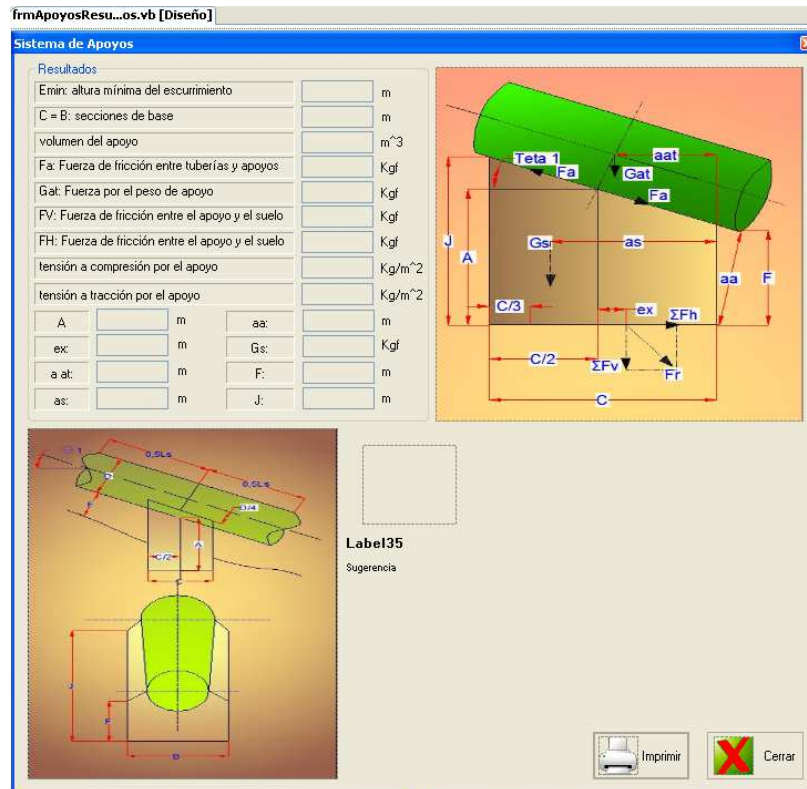


Figura 4. 82. Tutorial A39



Cuando se cumplen las condiciones se activa el botón de anclajes, se hace clic en el mismo y aparece la siguiente ventana.

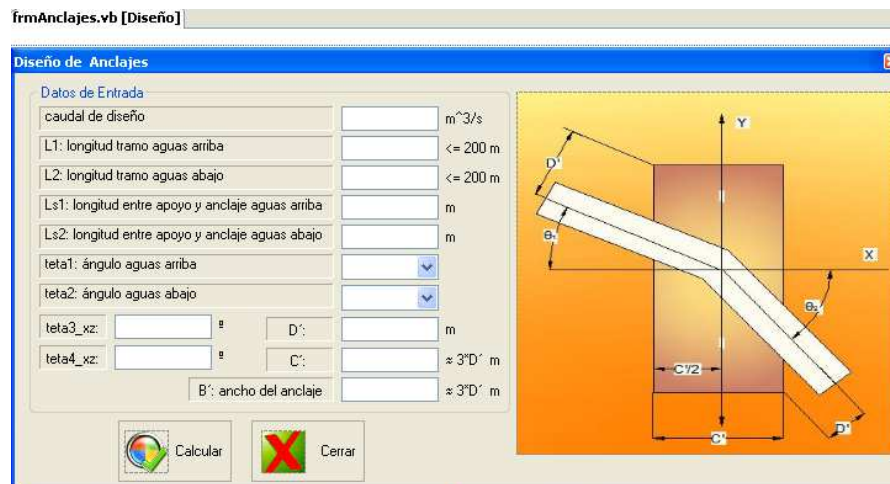
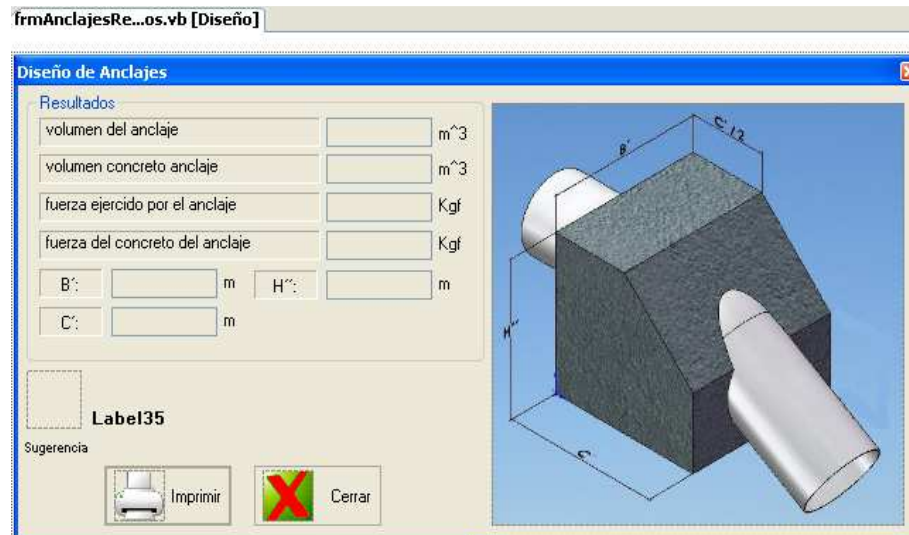


Figura 4. 83. Tutorial A36

Se ingresa datos en los casilleros en blanco se manda a calcular y aparece la ventana de resultados.



**Figura 4. 84. Tutorial A37**

### 7.13 Impresión de reportes.

Una de las características del software para aplicación de Windows es imprimir un resumen de todos los cálculos que se realizan, es así que *microLORF v1.0* permite esta opción. Haciendo clic en el botón



enlazará los resultados a unos formularios de vista previa de impresión, donde se podrá configurar el tipo de impresora, entre otros:
















Figura 4. 85. Tutorial A38



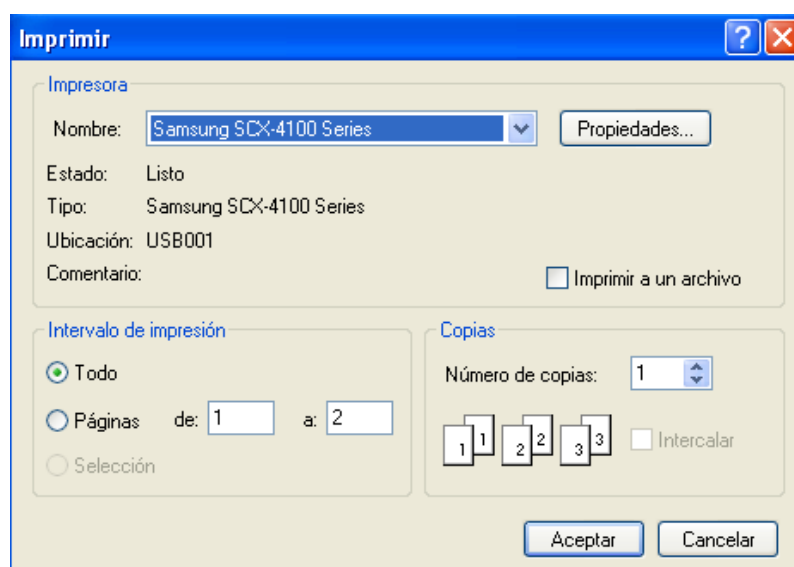
Figura 4. 86. Tutorial A39

Tabla 4. 3. Botones de mando en la impresión.

Sección de Navegación		
Ícono	Nombre	Descripción
	<b>Ir al Inicio</b>	Posiciona la vista previa al inicio del conjunto de reportes actualmente mostrados.
	<b>Ir al Anterior</b>	Posiciona la vista previa sobre el reporte anterior al registro actualmente seleccionado.
	<b>Ir al Siguiente</b>	Posiciona la vista previa sobre el siguiente reporte del actualmente seleccionado.
	<b>Ir al Final</b>	Posiciona la vista previa al fin del conjunto de reportes actualmente mostrados.
	<b>Imprimir Reporte</b>	Permite configurar la impresión e imprimir el reporte.
	<b>Refrescar/Consultar</b>	Carga nuevamente el conjunto de reporte(s) correspondiente(s) a la vista actual del formulario.
	<b>Exportar reporte</b>	Permite exportar el reporte con extensión .rpt hacia otra aplicación accesible.

	<b>Árbol de grupo</b>	
	<b>Ir a página</b>	Permite dirigirse hacia una página específica.
	<b>Buscar texto</b>	Permite encontrar un texto dentro de un reporte o grupo.
	<b>Zoom</b>	Permite visualizar en diferentes tamaños los reportes.

Formulario de configuración de impresión:

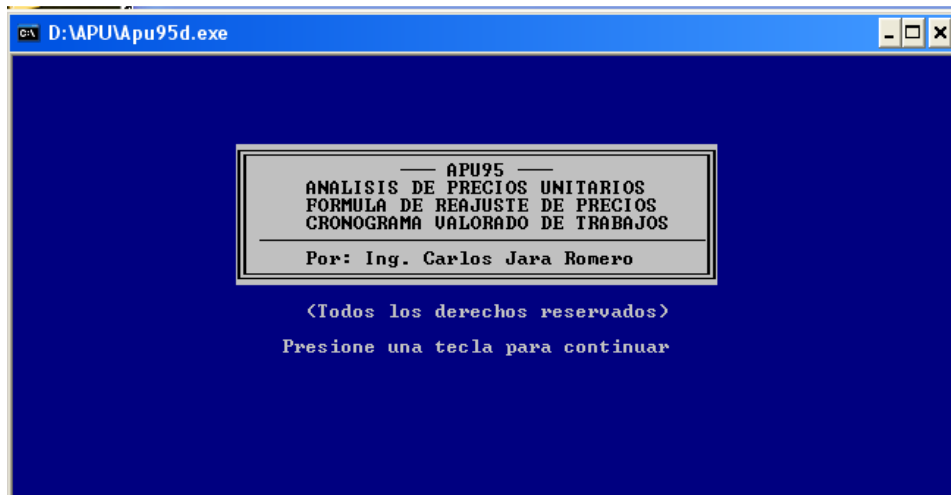


**Figura 4. 87. Tutorial A39**


#### 7.14 Software de complementos.

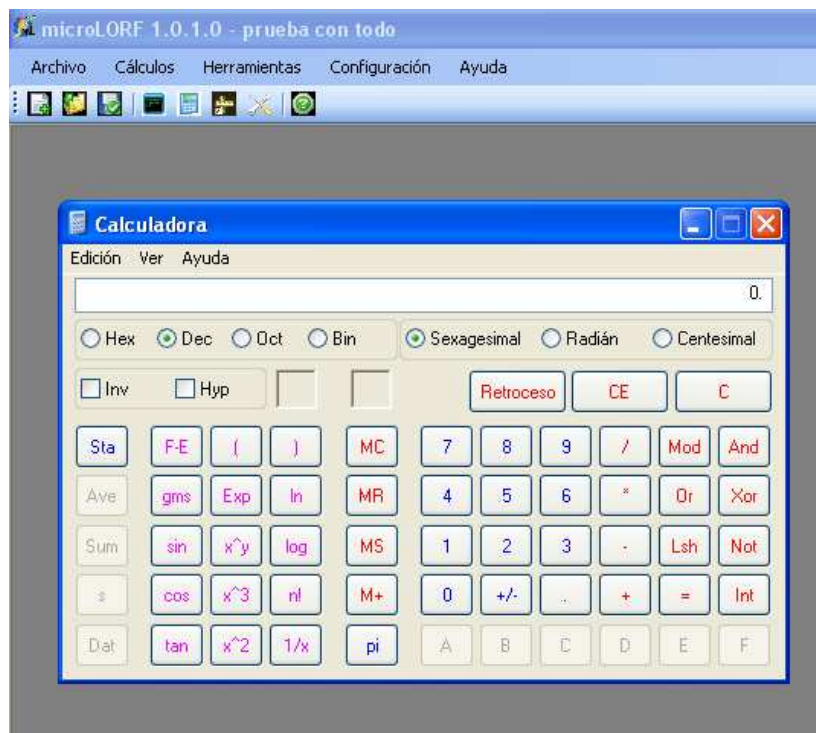
microLORF v1.0 como se mencionó anteriormente puede combinarse con otras aplicaciones para mayor versatilidad. Haciendo clic en la barra de menú: Herramientas > A.P.U, o si se hace clic en el

botón , se enlaza con la aplicación A.P.U. para costos unitarios:



**Figura 4. 88. APU I**

Haciendo clic en la barra de menú: Herramientas > Calculadora, o si se hace clic en el botón , se enlaza con la aplicación de calculadora del sistema operativo vigente:

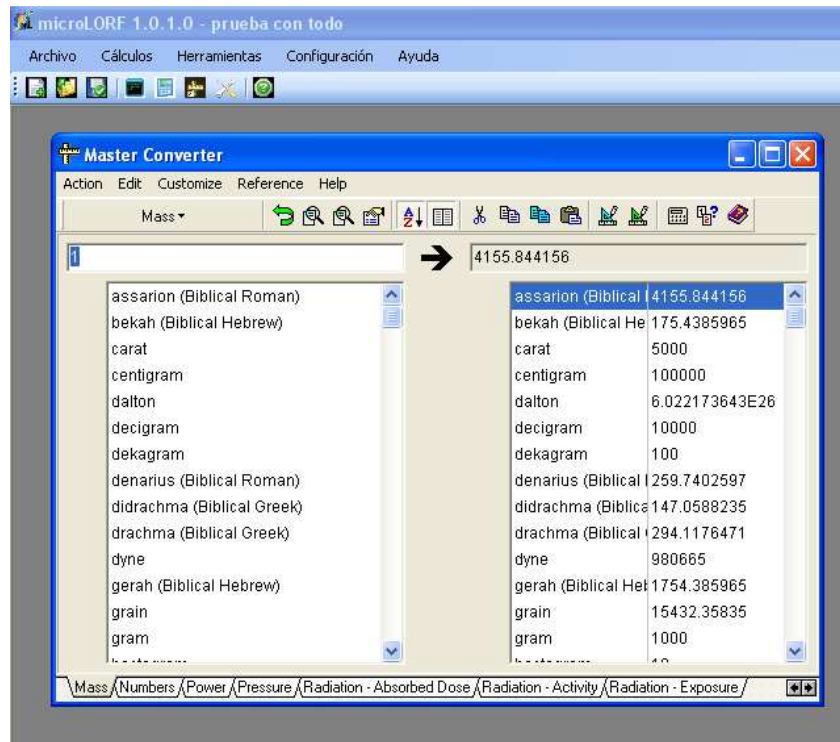


**Figura 4. 89. APU I 2**

Haciendo clic en la barra de menú: Herramientas > Master Converter, o si se hace clic en el botón



, se enlaza con la aplicación de Master Converter:



**Figura 4. 90. APU I 3**

## **7.15 Validación de resultados.**

### **7.15.1 Introducción.**

El fin del ejercicio de validación es probar que los cálculos realizados por la aplicación tienen validez con un cálculo de una referencia estipulado. Estos cálculos servirán para ver la aproximación que tienen el software con respecto a cálculos de ejemplo de diseño microcentrales hidroeléctricas ya desarrolladas. Se desarrollarán la validación de: Las referencias bibliográficas para este fin corresponden a [7]: “Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro”; considerando que los cálculos a continuación representan a valores desarrollados por dichas referencias.

### 7.15.2 Datos de entrada para validación. [6]

<b>Caudal máximo:</b>	0.256 m <sup>3</sup> /s.
<b>Caudal de diseño:</b>	0.128 m <sup>3</sup> /s.
<b>Caudal mínimo:</b>	0.06888 m <sup>3</sup> /s.
<b>Temperatura promedio del ambiente:</b>	18° C.
<b>Diámetro de la partícula en el lecho del río.</b>	0.005 m.
<b>Ancho del río.</b>	1.2 m.
<b>Altura del Azud:</b>	0.96 m.
<b>Espesor de las paredes de concreto</b>	0.15 m.
<b>Nivel mínimo del agua.</b>	0.2 m.
<b>Ángulo de inclinación de la rejilla.</b>	26°.
<b>Espaciamiento entre barras.</b>	5 cm
<b>Altura de captación msnm.</b>	2957 m.
<b>Altura del tanque de presión.</b>	2945 m.
<b>Numero de codos de 45°.</b>	3
<b>Altura bruta.</b>	187 m.
<b>Longitud de la tubería de presión.</b>	550 m.

#### 7.15.2.1 Desarrollo.

**Tabla 4. 4.Resumen de Validación**

Parámetro	Sistema microLORF	Referencia: Cachimburo	Pág.
Altura del perfil de Creager	1.6m	1m	76
Carga energética he.	0.25 m	0.1609 m	69
Diente al final del zampeado.	0.02325 m	0.02 m	72

Longitud de Zampeado.	2.2 m	2.1 m	72
Profundidad de protección ds.	1.36 m	1.22m	74
do	0.3 m	0.5 m	74
Factor seguridad deslizamiento.	2.08	1.47	80
Factor seguridad volteo.	2.26	1.44	81
Longitud del canal colector	1.4 m	1.129 m	89
Altura inicial del canal	0.21 m	0.35 m	89
D tubería de conducción	0.26 m	0.24 m	93
Longitud del tanque de presión	2.89 m	2.77 m	58
Distancia C en apoyo	0.7 m	0.41 m	117
Distancia B en apoyo	0.5 m	0.41 m	117
Distancia C en anclaje	0.8 m	1 m	137
Distancia B en anclaje	1 m	1 m	137
Distancia A en anclaje	0.8 m	0.798 m	137
Costos de la obra civil	USD 137993.4	USD 205865.4	170

Los resultados de esta comparación muestran que existe cierta similitud en los datos pero hay que recalcar que para el programa microLORF se necesitan muchos más datos de ingreso que en la tesis del “Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro” es por eso que se observa cierta variedad de datos en el resultado.

## 7.16 Análisis de costos según los datos del estudio de factibilidad de la microcentral hidroeléctrica Chachimbiro.

El análisis de costos se obtiene ingresando al programa, cantidades de material es decir de hormigón en el caso de la bocatoma conducción por canales, desarenador, tanque de presión, aliviaderos, apoyos y canales; en cambio en las tuberías se ingresa la longitud de las mismas y en encofrados se utiliza una área.

### 7.16.1 Análisis de costo unitario del rubro hormigón.

Este análisis es uno de los más importantes ya que la mayoría de la obra civil se enfoca al cálculo de volúmenes de las distintas estructuras, razón por la cual es necesario realizar el análisis del hormigón por metro cúbico [m<sup>3</sup>].

**Tabla 4. 5. Análisis del costo unitario del hormigón.**

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

PROYECTO: MICROCENTRAL CHACHIMBIRO

FECHA: ENERO 2010

ITEM: 1

RUBRO: HORMIGÓN

UNIDAD: m<sup>3</sup>

A.-MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
Cemento	Kg	360,5	0,13	46,865
Arena	m <sup>3</sup>	0,65	7	4,55
Ripio	m <sup>3</sup>	0,95	6,41	6,0895
Agua	m <sup>3</sup>	0,22	0,35	0,077
				-----
				57,5815
B.-MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	HORAS-EQUIPO	COSTO x		SUBTOTAL
Herramienta menor	5	0,35		1,75
Concretera	2,5	5		12,5
Vibrador	2,5	3,75		9,375
				-----
				23,625
C.-MANO DE OBRA	CATEGORIAS	HORAS-	COSTO x	SUBTOTAL

		HOMBRE	HORA	
Albañil	III	4	2,13	8,52
Peon	I	6	2,13	12,78
Ayudante	II	2	2,13	4,26
Maestro mayor	IV	0,15	2,13	0,3195
				-----
				25,8795
COSTOS DIRECTOS (A+B+C)				107,086
COSTOS INDIRECTOS 25%				26,7715
PRECIO UNITARIO				133,8575

El resultado final es el costo por metro cubico de hormigón, el mismo que será multiplicado con el volumen de cada una de las obras civiles.

#### 7.16.2 Análisis del costo unitario del rubro encofrado.

El siguiente análisis se refiere al costo del encofrado que van a tener los tanques ya sea de presión y desarenador.

**Tabla 4. 6. Análisis del costo unitario del encofrado.**

##### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

PROYECTO: MICROCENTRAL CHACHIMBIRO

FECHA: ENERO 2010

ITEM: 2

RUBRO: ENCOFRADO DE TANQUES

UNIDAD: m<sup>2</sup>

A.- MATERIALES	UNID.	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
Tabla encofrado (20 x 240 cm)	u	2,08	1,4	2,912
Alfajia	u	1,83	1,7	3,111
Clavos	Kg	0,2	2,2	0,44
Pingo	u	1,08	1,6	1,728
Estacas	u	1,67	0,2	0,334
				-----
				8,525
B.- MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS		HORAS-EQUIPO	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Herramienta menor		0,05	0,35	0,0175
				-----
				0,0175



C.- MANO DE OBRA	CATEG	HORAS-HOMBRE	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Carpintero	III	0,3	2,13	0,639
Ayudante	II	1,2	2,13	2,556
				-----
				3,195
COSTOS DIRECTOS (A+B+C)				11,7375
COSTOS INDIRECTOS 25 %				2,934375
PRECIO UNITARIO				14,3

### 7.16.3 Análisis del costo unitario del rubro tubería de conducción.

En este punto se analizan los costos involucrados en la instalación de la tubería de conducción.

**Tabla 4. 7. Análisis del costo unitario de la tubería de conducción.**

#### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

PROYECTO: MICROCENTRAL CHACHIMBIRO

FECHA: ENERO 2010

ITEM: 3

RUBRO: TUBERÍA HIDROTUBO PVC 270 mm X 3 m

UNIDAD: m

A.-MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
Polipega	cm^3	1,02	6,41	6,5382
Polilimpia	cm^3	0,34	0,35	0,119
Tuberia de PVC	m	1	36,6	36,6
				-----
				43,2572
B.-MAQUINARIA Y HERRAMIENTA		HORAS-EQUIPO	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Herramienta menor		0,42	0,35	0,147
				-----
				0,147
C.-MANO DE OBRA	CATEGORIAS	HORAS-HOMBRE	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Albañil	III	4	2,13	8,52

Peón	I	6	2,13	12,78
Ayudante	II	2	2,13	4,26
Maestro mayor	IV	0,15	2,13	0,3195
				-----
				25,8795
COSTOS DIRECTOS (A+B+C)				69,2837
COSTOS INDIRECTOS				
25%				17,320925
PRECIO UNITARIO				86,604625

#### 7.16.4 Análisis del costo unitario del rubro tubería de presión.

El siguiente análisis describe el costo de instalación de la tubería de presión.

**Tabla 4. 8. Análisis del costo unitario de la tubería de presión.**

##### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

PROYECTO: MICROCENTRAL CHACHIMBIRO

FECHA: ENERO 2010

ITEM: 4

RUBRO: TUBERÍA DE PRESIÓN

UNIDAD: m

A.-MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO.UNIT	SUBTOTAL
Tuerveria de presión	m	1	235	235
				235
B.-MAQUINARIA Y HERRAMIENTA		HORAS-EQUIPO	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Herramienta menor		0,42	0,35	0,147
				0,147
C.-MANO DE OBRA	CATEGORIAS	HORAS-HOMBRE	COSTO x HORA	SUBTOTAL
Albañil	III	4	2,13	8,52
Peón	I	6	2,13	12,78
Ayudante	II	2	2,13	4,26
Maestro mayor	IV	0,15	2,13	0,3195
				25,8795

COSTOS DIRECTOS (A+B+C)	261,0265
COSTOS INDIRECTOS 25%	65,256625
PRECIO UNITARIO	326,283125

#### 7.16.5 Costos de mano de obra, materiales y maquinaria.

##### 7.16.5.1 Análisis de los materiales.

Este estudio se lo realiza dependiendo de cuál es la unidad como se comercializa el producto, es decir:

**Tabla 4. 9. Costos de materiales.**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
Tabla de encofrado (20 x 240 cm)	u	1.4
Alfajías	u	1.7
Clavos	Kg	2.2
Pingo	u	1.6
Estacas	u	0.2
Cemento	Kg	0.13
Arena	m <sup>3</sup>	7
Ripio	m <sup>3</sup>	6.41
Agua	m <sup>3</sup>	0.35
Polipega	cm <sup>3</sup>	6.41
Polilimpia	cm <sup>3</sup>	0.35
Tubería hidrotubo PVC 270 mm x 3m	m	36.6
Tubería de presión	m	235

##### 7.16.5.2 Análisis de la mano de obra. [15]

Al igual que estudio anterior se toma en cuenta cuánto gana un obrero por hora, tomando en cuenta su categoría.

**Tabla 4. 10. Costos unitarios en mano de obra.**

DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	COSTO x HORA
Peón	I	2.13
Ayudante de albañil	II	2.13
Ayudante	II	2.13
Albañil	III	2.13
Carpintero	III	2.13
Maestro mayor	IV	2.13

### 7.16.5.3 Costo equipo y maquinaria. [15]

Este análisis toma en cuenta el costo por hora de la maquinaria nada más.

**Tabla 4. 11. Costos unitarios de maquinaria.**

DESCRIPCIÓN	COSTO x HORA
Herramienta menor	0.35
Concretera	5
Vibrador	3.75

### 7.16.6 Análisis de costos totales de la obra civil.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de todos los costos involucrados en la obra civil de la microcentral Chachimbiro.

**Tabla 4. 12. Análisis de costos totales en la Obra Civil.**

DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	COSTO TOTAL
ENCOFRADO EN TANQUES	m <sup>2</sup>	53.49	14.3	764.907
BOCATOMA CON REJILLA	m <sup>3</sup>	18.37	133.8575	2458.962275
DESRIPIADOR CON REJILLA	m <sup>3</sup>	0.7682	133.8575	102.8293315
ENCOFRADO DE CANALES	m <sup>2</sup>	5	6.69	33.45
CONDUCCIÓN POR TUBERÍA	m	223	86.604625	22897.55
DESARENADOR	m <sup>3</sup>	2.03069	133.8575	271.8230867
TANQUE DE PRESIÓN	m <sup>3</sup>	0.6755	133.8575	90.42074125
TUBERÍA DE PRESIÓN	m	550	326.2831	179455.7188
APOYOS	m <sup>3</sup>	22.809	133.8575	353.1557
ANCLAJES	m <sup>3</sup>	2.4	133.8575	321.258
				<b>205865.4</b>

Se puede observar que sumando el total de los costos para cada estructura un presupuesto total de la obra civil, cabe mencionar que cada uno de ellos tiene un análisis individual tomando en cuenta la mano de obra, los materiales las herramientas etc.

## **CAPÍTULO V**

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **8.1 Conclusiones.**

- Los dos tipos de bocatomas es decir la convencional y la de rejilla están diseñadas con el perfil de Creager, el cual es el más apropiado para este tipo de captación ya que es el borde con menores pérdidas hidráulicas.
- El proyecto toma en cuenta tres tipos de conducción, el de canal rectangular que sirve para transportar pequeños caudales, su construcción no es complicada siempre y cuando se pueda trasladar los materiales de construcción hacia el lugar en donde se realizara el proyecto, el segundo canal es el trapezoidal el mismo que sirve para llevar caudales un poco grandes su construcción se da cuando se pueda trasladar los materiales a pesar de ser el más caro construir se puede decir que es el más eficiente en traslado de fluido, y por ultimo esta la conducción por tubería que es una de las mas opcionadas ya que su costo es bajo y su transporte es fácil hacia el lugar de trabajo.
- Los resultados obtenidos con el ejercicio de validación fueron exitosos y muy parecidos a los datos obtenidos del estudio de microcentral realizado en el sector de Chachimbiro.
- Los costos obtenidos mediante el programa microLORF no tienen coincidencia con los costos obtenidos en el Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro, ya que los costos de los materiales, mano de obra y maquinaria han subido considerablemente.
- El programa puede proporcionar datos de diseño de Construcción Civil además de dar gráficas en tiempos cortos lo cual facilita, la puesta en marcha de varios proyectos.

## **8.2 Recomendación.**

- Se recomienda mejorar el alcance del programa en generación y así abarcar tipos de turbinas que no fueron consideradas, de esta manera se tendría que mejorar el diseño de las obras civiles.
- Cabe mencionar que en la conducción por tubería solo se ha tomado en cuenta el material de PVC por su costo bajo y por su fácil transporte pero la recomendación sería en adherir otros materiales de tubería ya que no siempre se van a dar las condiciones para el PVC ya sea por su exposición directa al sol o por su fragilidad.
- Se recomienda mejorar el programa en el aspecto civil para obtener más capacidad de potencia en las centrales hidroeléctricas.
- Implementar el uso de GPS en el programa para poder visualizar mediante un mapa, el lugar exacto donde se evalúa el proyecto.

ANEXOS

## ► Capacidad de generación del Ecuador (2009)

Efectiva (MW)

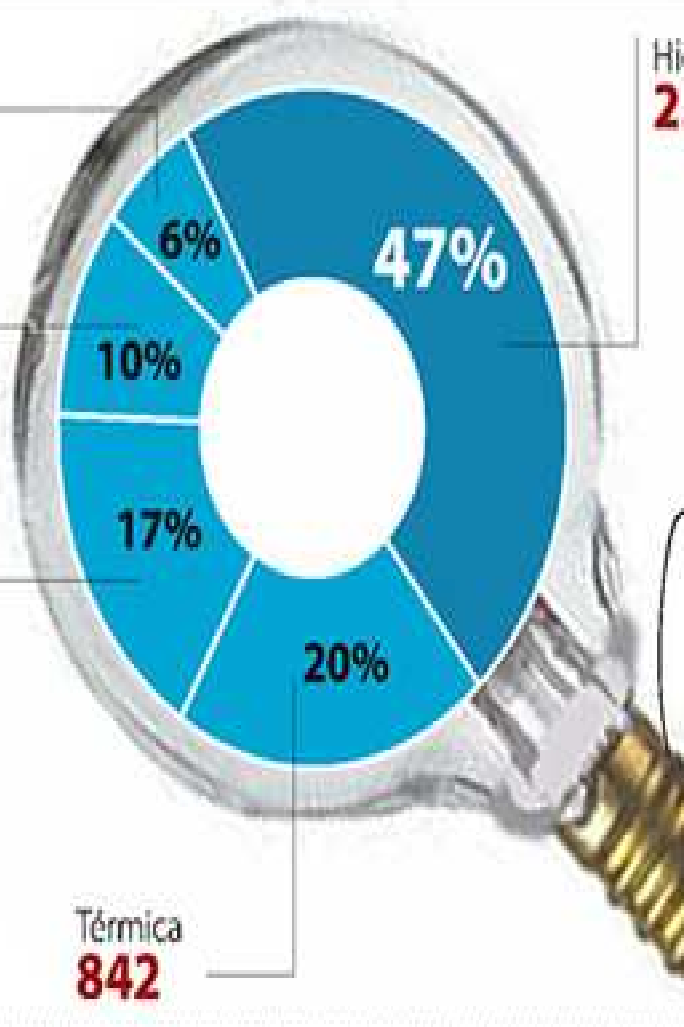
Importación  
**2.031**

Térmica Vapor  
**2.031**

Térmica Gas  
**753**

Térmica  
**842**

Hidráulica  
**2.031**



Total Mw  
4.307,92

Fuente: Conelec

EXPRESO



**ANEXO 2. Coordenadas del perfil de Creager.**

<b>Abscisa del Azud</b>	<b>Ordenada del azud</b>
0	-0.126
0.1	-0.036
0.2	-0.007
0.3	0
0.4	-0.006
0.5	-0.025
0.6	-0.06
0.7	-0.098
0.8	-0.147
0.9	-0.198
1	-0.256
1.1	-0.322
1.2	-0.393
1.3	-0.477
1.4	-0.565
1.5	-0.662
1.6	-0.764
1.7	-0.873
1.8	-0.987
1.9	-1.108
2	-1.235
2.1	-1.369
2.2	-1.508
2.3	-1.654
2.4	-1.804
2.5	-1.96
2.6	-2.122
2.7	-2.289
2.8	-2.463
2.9	-2.64
3	-2.824
3.1	-3.013
3.2	-3.207
3.3	-3.405
3.4	-3.609
3.5	-3.818
3.6	-4.031
3.7	-4.249
3.8	-4.471
3.9	-4.699
4	-4.93

**ANEXO 3. Viscosidad cinemática en función de la temperatura.**

Temperatura [°C]	Visco [m <sup>2</sup> /s]	Cinemática
0	0,00001328	
1	0,00001337	
2	0,00001346	
3	0,00001355	
4	0,00001364	
5	0,00001373	
6	0,00001382	
7	0,00001391	
8	0,000014	
9	0,00001409	
10	0,00001418	
11	0,000014272	
12	0,000014364	
13	0,000014456	
14	0,000014548	
15	0,00001464	
16	0,000014732	
17	0,000014824	
18	0,000014916	
19	0,000015008	
20	0,0000151	
21	0,000015193	
22	0,000015286	
23	0,000015379	
24	0,000015472	
25	0,000015565	
26	0,000015658	
27	0,000015751	
28	0,000015844	
29	0,000015937	
30	0,00001603	
31	0,000016125	
32	0,00001622	
33	0,000016315	
34	0,00001641	
35	0,000016505	
36	0,0000166	
37	0,000016695	
38	0,00001679	
39	0,000016885	
40	0,00001698	

#### ANEXO 4. Materiales para la tubería de presión.

MATERIAL TUBERÍA	DE	K (m)	Su= $\delta_t$ MN/m <sup>2</sup>	$\alpha$ 1/°C	E Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma_t$ Kg/m <sup>3</sup>	$\delta_{ad}$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\mu_K$
Polietileno		$3 \cdot 10^{-6}$	7.35	$2 \cdot 10^{-4}$	1600	924.1	168	0.633
Tubo Plástico (PVC)		$1,5 \cdot 10^{-6}$	28	$6 \cdot 10^{-5}$	30000	1372	510	0.4745
Tubo de hierro fundido (n)		$1,5 \cdot 10^{-4}$	350	$12 \cdot 10^{-6}$	633000	6928	668	0.015
Tubo de acero (nuevo)		$4,6 \cdot 10^{-5}$	412	$11 \cdot 10^{-6}$	$2,11 \cdot 10^6$	7664	2500	0.5

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] KROCHIN, S. Diseño Hidráulico. 3<sup>ra</sup> ed. Quito: 1986. pp. 27, 46, 47, 92, 143, 339.
  
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA. Guía de Diseño de Obras Hidráulicas Para Mini-Microcentrales Hidroeléctricas. Quito: 1987 – 1988. pp. 40.
  
- [3] ORTIZ R, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001. pp. 125, 138, 172, 279, 342.
  
- [4] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Perú: 1995. pp. 62, 64, 67.
  
- [5] SHIGLEY, E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4<sup>ta</sup> ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1990.
  
- [6] MERINO, D. Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro. Riobamba –Ecuador: 2008. (Tesis). pp. 23.
  
- [7] LARA, W. Estudio de Factibilidad para la Puesta en Funcionamiento de la Microcentral Hidroeléctrica “Montalvo”. Riobamba – Ecuador: 2007. (Tesis)
  
- [8] SALDARRIAGA, J. Hidráulica de Tuberías. Bogotá: McGraw-Hill, 2000. pp. 113.

[9] JASON, G. Microsoft Server 2003 Administrators Companion. USA: Microsoft Press, 2003.

[10] MARK, R. Microsoft Server 2003 Delta Guide. USA: Que Publishing, 2003.

[11] Microsoft. SQL Server Architecture. USA: Microsoft Press, 2005. (doc)

[12] [www.tutiempo.net/silvia\\_larocca/Temas/ecuaciones.htm](http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/ecuaciones.htm)

[13] [www.obras.df.gob.mx/normatividad/normas\\_construccion/Libro%20%20Tomo%20II.pdf](http://www.obras.df.gob.mx/normatividad/normas_construccion/Libro%20%20Tomo%20II.pdf)

[14] [www.Ayuda de Microsoft SQL Server 2000](http://www.Ayuda de Microsoft SQL Server 2000)

[15] [www.contraloria.gov.ec/informativo.asp?id\\_SubSeccion=33](http://www.contraloria.gov.ec/informativo.asp?id_SubSeccion=33)

[16] [//www.diario-expreso.com/ediciones/2009/12/14/economía/economía/menos-de-la-mitad-de-la-energia--del-ecuador-es-por-hidrogenacion/](http://www.diario-expreso.com/ediciones/2009/12/14/economía/economía/menos-de-la-mitad-de-la-energia--del-ecuador-es-por-hidrogenacion/)

## **BIBLIOGRAFÍA.**

KROCHIN, S. Diseño Hidráulico. 3<sup>ra</sup> ed. Quito: 1986.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGÍA. Guía de Diseño de Obras Hidráulicas Para Mini-Microcentrales Hidroeléctricas. Quito: 1987 – 1988.

ORTIZ R, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001.

ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Perú: 1995.

SHIGLEY, E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4<sup>ta</sup> ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1990.

MERINO, D. Estudio de Factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica Chachimbiro. Riobamba – Ecuador: 2008. (Tesis)

LARA, W. Estudio de Factibilidad para la Puesta en Funcionamiento de la Microcentral Hidroeléctrica “Montalvo”. Riobamba – Ecuador: 2007. (Tesis)

SALDARRIAGA, J. Hidráulica de Tuberías. Bogotá: McGraw-Hill, 2000.

LEITHOLD, L. El Cálculo con Geometría Analítica. 2<sup>da</sup> ed. Estados Unidos de América: Harper & Row Publisher, Inc, 1973.

CHAPRA, S. Métodos Numéricos para Ingenieros. 4<sup>ta</sup> ed. México: McGraw-Hill, 2003.

CALLISTER, W. Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1. España: Reverté, 1995.

SINGER, F. Resistencia de Materiales. 3<sup>ra</sup> ed. México: Harla de C. V., 1982.

JASON, G. Microsoft Server 2003 Administrators Companion. USA: Microsoft Press, 2003.

MARK, R. Microsoft Server 2003 Delta Guide. USA: Que Publishing, 2003.

## **LINKOGRAFÍA.**

### **CÁLCULO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA VS LA ALTITUD.**

[www.tut tiempo.net/silvia\\_larocca/Temas/ecuaciones.htm](http://www.tut tiempo.net/silvia_larocca/Temas/ecuaciones.htm)

2009 – Julio - 20

### **ECUACIÓN DE BONDSCHÜ.**

[www.obras.df.gob.mx/normatividad/normas\\_construccion/Libro%202%20Tomo%20II.pdf](http://www.obras.df.gob.mx/normatividad/normas_construccion/Libro%202%20Tomo%20II.pdf)

2009 – Julio – 30

### **DEFINICIÓN VISUAL STUDIO .NET**

[www.Ayuda de Microsoft SQL Server 2000.](http://www.Ayuda de Microsoft SQL Server 2000)

2009 – Octubre - 5

### **COSTOS DE MANO DE OBRA Y MAQUINARIA.**

[www.contraloria.gov.ec/informativo.asp?id\\_SubSeccion=33](http://www.contraloria.gov.ec/informativo.asp?id_SubSeccion=33)

2010 – Enero – 15

### **GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL ECUADOR.**

[//www.diario-expreso.com/ediciones/2009/12/14/economía/economía/menos-de-la-mitad-de-la-energia--del-ecuador-es-por-hidrogenacion/](http://www.diario-expreso.com/ediciones/2009/12/14/economía/economía/menos-de-la-mitad-de-la-energia--del-ecuador-es-por-hidrogenacion/)

2009 – Diciembre – 13